

3. Leicht abgewandelte deutsche Fassung des englischsprachigen Reports „The Problem of Nuclear Fusion“

Das Problem der Kernfusion

Report über eine mögliche Lösung

Zusammenfassung: Kernfusionsreaktor nach dem „Cusped Geometry Concept“, bei dem das mit den bekannten Kernfusionsreaktoren nicht lösbare Problem eines zeitlich unbegrenzten dichten Plasmaeinschlusses mit inhärenter Stabilität und hoher Kompression des eingeschlossenen Plasmas in der Reaktionszone durch einen die Reaktionszone umgebenden elektrischen Potentialtopf mit einer Ionenquelle am oberen Potentialtopfrand gelöst ist.

Kernfusion ist die Energiequelle der Zukunft, wenn es gelingt, eine kontrollierte Kernfusion zu erzielen und zur Energiegewinnung zu nutzen, denn im Gegensatz zu den bisherigen Formen der Energiegewinnung durch Verbrennung fossiler Brennstoffe mit dem zum Treibhauseffekt führenden Kohlendioxid als Verbrennungsrückstand oder durch Kernspaltung mit hochgiftigen radioaktiven Spaltprodukten als Reaktionsprodukten der Kernbrennstoffe und den sich daraus ergebenden Entsorgungsproblemen führt eine Energiegewinnung durch Kernfusion zu industriell verwendbarem inertem Helium als Reaktionsprodukt der Kernbrennstoffe und somit zum Wegfall der bisher bei der Energiegewinnung von Verbrennungsrückständen verursachten schwerwiegenden Umweltbelastungen. Darüber hinaus stehen die für kontrollierte Kernfusion hauptsächlich in Frage kommenden Kernbrennstoffe Deuterium D und Lithium Li^6 im Gegensatz zu spaltbarem Uran U^{253} und fossilen Brennstoffen wie Kohle, Erdöl und Erdgas überall in einem für Jahrtausenden ausreichenden Masse zur Verfügung, so dass die Brennstoffversorgung für die kontrollierte Kernfusion dauerhaft gesichert wäre. Da ferner bei Kernfusionsreaktoren auch im Falle von Funktionsstörungen kein GAU wie bei den Kernspaltungsreaktoren auftreten kann und Kernfusionsreaktoren daher unterirdisch in grosser Tiefe angeordnet werden können, kann bei geeigneter Reaktorabschottung gegen das umgebende Erdreich auch der Abbau der kontaminierten Reaktorbauteile nach der Stilllegung eines Kernfusionsreaktors unterbleiben, so dass auch die bei Stilllegung von Kernspaltungsreaktoren auftretenden, bisher noch ungelösten Entsorgungsprobleme bei Kernfusionsreaktoren vermieden werden können.

Die Kernforschung bemüht sich daher schon seit ca. 40 Jahren um eine Realisierung der kontrollierten Kernfusion. Trotz intensiver Forschungstätigkeit und einem immensen Aufwand an Forschungsmitteln konnte jedoch bisher noch nicht einmal die für die Aufrechterhaltung von Kernfusionen im heissen Plasma der Reaktionsteilnehmer erforderliche Zündung des Plasmas erreicht werden, so dass es fraglich erscheint, ob eine Energiegewinnung durch kontrollierte Kernfusion überhaupt auf dem bisher eingeschlagenen Wege erreichbar ist, zumal aus Forschungskreisen verlautet, dass jedenfalls vor Ablauf von weiteren 50 Jahren nicht mit einer Einbeziehung von Kernfusionsreaktoren in die Energieversorgung zu rechnen sei.

Die auf dem Gebiet der Kernfusion tätigen Forscher befinden sich auch insofern in einer schwierigen Lage, als das Ausbleiben von durchgreifenden Erfolgen ihrer langjährigen Forschungstätigkeit zu einer sukzessive fortschreitenden Kürzung der staatlichen Forschungsmittel und damit auch schon zur Einstellung einer Reihe von Forschungsprojekten auf dem Kernfusionsgebiet wie z.B. dem zur Untersuchung der Zündbedingungen im heissen Plasma in Garching geplanten ZEPHYR-Projekt geführt hat. Die Kernfusionsforscher können daher selbst im Falle von eigenen Zweifeln an den Erfolgsaussichten ihrer Projekte den einmal eingeschlagenen Weg nicht verlassen, wenn sie nicht weitere einschneidende Kürzungen von Forschungsmitteln und damit letztlich die Einstellung ihrer noch laufenden Forschungsprojekte riskieren wollen, sondern sie müssen im Gegenteil zur Sicherung ihrer Forschungsprojekte jedem Zweifel an der Richtigkeit des eingeschlagenen Weges und damit auch jedem von dem eingeschlagenen Weg abweichenden Vorschlag entgegentreten, denn der Erfolg eines solchen Vorschlags hätte zwangsläufig die Verlagerung der Forschungsmittel auf den abweichenden Weg und damit die Einstellung der auf dem bisher eingeschlagenen Weg liegenden Forschungsprojekte zur Folge.

Der von der Kernfusionsforschung schon Mitte der 50er Jahre eingeschlagene Weg, in einem torusförmigen Entladungsgefäß ein von Magnetfeldern eingeschlossenes, als Reaktionszone für die Kernfusion vorgesehenes ringförmiges Plasma zu erzeugen und dieses bis auf Zündtemperatur aufzuheizen, hat aber den grundlegenden Mangel fehlender Stabilität des Plasmaringes im Zündtemperaturbereich, der wegen der noch vor Erreichen der Zündung des Plasmas auftretenden Instabilitäten eine Aufheizung des Plasmas bis zur Zündung bisher verunmöglicht hat. Ein zeitlich unbegrenzter stabiler Plasmaeinschluss, wie er für einen kontinuierlichen Reaktorbetrieb und damit für das eigentliche Ziel einer Energie-

gewinnung durch Kernfusion erforderlich wäre, lässt sich somit auf dem eingeschlagenen Weg mit torusförmigen Entladungsgefässen und einem Plasmaring als Reaktionszone nicht erreichen.

Diesen Sachverhalt und die damit absehbare Erfolglosigkeit von Forschungsarbeiten auf dem bisher von der Kernfusionsforschung eingeschlagenen Weg hatte der Nestor der Kernfusion, Edward Teller, schon 1954 mit der Aufstellung des nach ihm benannten Stabilitätskriteriums vorausgesagt, denn nach Tellers Stabilitätskriterium kann mit torusförmigen Entladungsgefässen und einem von Magnetfeldern umgebenen ringförmigen Plasma als Reaktionszone kein zeitlich unbegrenzter stabiler Plasmaeinschluss erreicht werden.

Mit seinem Stabilitätskriterium hatte Teller aber darüber hinaus auch die grundlegende Lehre für den Aufbau von Kernfusionsreaktoren gegeben, mit denen ein stabiler Plasmaeinschluss und damit der für Energiegewinnung durch kontrollierte Kernfusion unabdingbare kontinuierliche Reaktorbetrieb erzielbar ist. Dass der damit von Teller gewiesene Weg zur kontrollierten Kernfusion seinerzeit von Fachkreisen abgelehnt wurde, hatte keine wissenschaftlichen Gründe sondern hing mit dem 1954 erfolgten Ausschluss des „Vaters der Atombombe“, J. R. Oppenheimer, aus der US-Atomenergiekommission zusammen, für den viele Wissenschaftler Teller zu Unrecht verantwortlich gemacht haben.

Nur eine kleine Gruppe von Wissenschaftlern unter H. Grad verfolgte in den Jahren 1955/56 den von Teller aufgezeigten Weg und wies nach, dass mit dem Tellers Stabilitätskriterium erfüllenden „Cusped Geometry Concept“ (Bild 1) bei hoher Dichte des Plasmas in der Reaktionszone ein zeitlich unbegrenzter

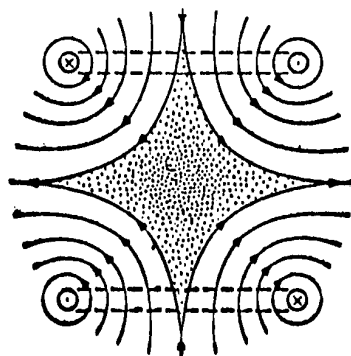


Bild 1

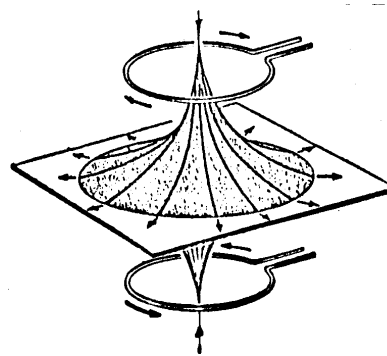


Bild 2

stabiler Plasmaeinschluss erreicht werden kann und der von Teller aufgezeigte Weg daher eine Energiegewinnung durch kontrollierte Kernfusion ermöglicht. Auch das befürchtete und als Haupthindernis für die Realisierung eines Fusionsreaktors auf dem von Teller gewiesenen Weg angesehene schnelle Entweichen von Plasma aus der Reaktionszone (Bild 2, Pfeile in Mittelebene) wäre mit dem „Cusped Geometry Concept“ weitgehend vermeidbar gewesen, so dass ein zwar nicht vollständig aber doch hinreichend dichter Plasmaeinschluss erreichbar gewesen wäre. Der seinerzeitige Leiter des Kernfusionsbereiches der US-Atomenergiekommission A. S. Bishop schreibt dazu in seinem 1958 herausgegebenen (in der Patentschrift mehrfach angezogenen) Buch „Project Sherwood, The U.S. Program in Controlled Fusion“ auf Seite 140:

«In fact, it was found that the plasma confinement at thermonuclear temperatures, while not as good as desired, might still be adequate to make this configuration of practical interest. Here, then, was a possible approach offering the two important features of inherent stability and adequate confinement.»

«Leaving aside the complex problem of whether such boundaries, once established, could subsequently be maintained, the overall outlook for this approach appeared to be quite promising. Studies were even carried out on the size and characteristics of a power-producing thermonuclear reactor based on the cusped geometry concept.»

Die einzige seinerzeit noch nicht vollständig gelöste Frage war, ob die mit dem „Cusped Geometry Concept“ erzielbaren scharfen Grenzen zwischen Plasma und Magnetfeld (Bild 1) zeitlich unbegrenzt aufrechterhaltbar sind oder infolge des nicht völlig dichten Plasmaeinschlusses mit der Zeit verloren gehen bzw. ob eine solche Aufrechterhaltung auch bei nicht völlig dichtem Plasmaeinschluss möglich ist oder eine vollständige Vermeidung des Entweichens von Teilchen aus dem eingeschlossenen Plasma erforderlich ist.

Diese Frage war aber offensichtlich nicht mit unlösbaren Problemen verknüpft, denn gemäss den oben angeführten Angaben von A. S. Bishop waren bereits Studien über Grösse und Charakteristik eines zur Energieerzeugung einsetzbaren Kernfusionsreaktors auf der Basis des „Cusped Geometry Concepts“ erstellt worden, so dass in Kürze mit der praktischen Realisierung der Energiegewinnung durch kontrollierte Kernfusion auf dem von Teller gewiesenen Weg hätte gerechnet werden können.

Trotzdem wurden aber die Arbeiten an diesem Projekt noch vor der praktischen Realisierung eingestellt und die gesamte Forschungskapazität im Kernfusionsbereich auf Projekte mit torusförmigen Entladungsgefäßen und ringförmigem Plasma konzentriert, d.h. es erfolgte etwa Ende 1956 eine generelle Weichenstellung in Richtung des obengenannten, bisher von der Kernfusion eingeschlagenen Weges, und dieser einmal eingeschlagene Weg wurde von der Kernfusionsforschung im Prinzip bis heute weiterverfolgt.

Nach nunmehr ca. 40 Jahren Forschungstätigkeit ohne durchgreifenden Erfolg auf diesem von der Kernfusionsforschung eingeschlagenen Weg schien es aber an der Zeit, sich unter Zurückstellung von eventuell noch bestehenden Vorbehalten gegen die Person Tellers auf den von Teller gewiesenen erfolgversprechenden Weg zur kontrollierten Kernfusion zu besinnen und zumindest den Versuch zu unternehmen, einen funktionsfähigen Kernfusionsreaktor auf der Basis des „Gusped Geometry Concepts“ zu schaffen.

Natürlich konnte noch kein Modell eines solchen funktionsfähigen Fusionsreaktors erstellt werden, da die hierzu erforderlichen Mittel die Möglichkeiten eines einzelnen bei weitem übersteigen, aber immerhin konnte eine Lösung für die obenerwähnte noch offene Frage der Aufrechterhaltung scharfer Grenzen zwischen Plasma und Magnetfeld bzw. der eine solche Aufrechterhaltung ermöglichenden vollständigen Vermeidung des Entweichens von Reaktionsteilnehmern aus dem in der Reaktionszone eingeschlossenen Plasma gefunden werden und auf dieser Basis Konstruktion und Betriebsverfahren eines solchen Fusionsreaktors ermittelt und im einzelnen angegeben werden (Patentschrift, deutscher Text, S. 27-57). Da ausserdem der Nachweis der Funktionsfähigkeit eines Fusionsreaktors nach dem „Cusped Geometry Concept“ keine Grossprojekte wie bei den bisherigen Forschungsreaktoren erfordert sondern schon mit einem Reaktor von der Grösse eines mittelgrossen Laborgerätes erbracht werden kann, wurde auf der Grundlage der gefundenen Lösung und der sich daraus ergebenden Konstruktionsprinzipien für Fusionsreaktoren nach dem „Cusped Geometry Concept“ zunächst ein kleiner Versuchsreaktor mit nur 10 kW Bruttoleistung und nur ca. 20 Litern Volumen (ohne zugehörige Nebenaggregate) konzipiert, damit der Kostenaufwand für die Erstellung des Versuchsreaktors relativ gering gehalten werden kann (Patentschrift, deutscher Text, S.40, Z.4-8). Für die reine Überprüfung der Funktionsfähigkeit des Versuchsreaktors kann dabei noch ein Teil der für regulären Betrieb erforderlichen Nebenaggregate weggelassen oder zunächst durch bereits vorhandene Laborgeräte ersetzt werden, so dass der anfänglich erforderliche Kostenaufwand im wesentlichen auf die Erstellungskosten für das Reaktoraggregat beschränkt werden kann (Patentschrift, deutscher Text, S. 57, Z.20 - 44). Der konzipierte Versuchsreaktor samt Nebenaggregaten ist in der am Ende angefügten Figur (= Fig. 6 der

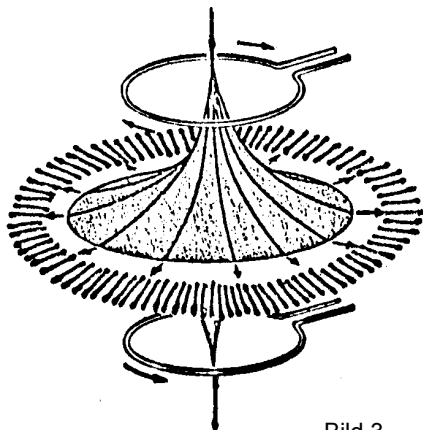


Bild 3

Fusionsreaktor wegen des nicht vollständig dichten Plasmaeinschlusses noch ionisierte Reaktionsteilnehmer aus dem in der Reaktionszone eingeschlossenen Plasma entweichen konnten (Bild 2, Pfeile in der Mittelebene), mit einem Bereich mit ansteigendem elektrischen Potential, einem sogenannten elektrischen Potentialtopf, umgeben wurde (Bild 3, schraffierter Bereich), in dem die aus der Reaktionszone entweichenden ionisierten Reaktionsteilnehmer (ähnlich wie eine Schüsselwand hinaufrollende Kugeln) unter Umwandlung ihrer kinetischen Energie in potentielle Energie ihre Geschwindigkeit bis auf Null verlieren und dann infolge des Potentialgefälles nach der Reaktionszone zu (ähnlich wie die Schüsselwand wieder herunterrollende Kugeln) unter Rückverwandlung ihrer potentiellen Energie in kinetische Energie wieder in die Reaktionszone zurückgeführt werden. Da somit alle Reaktionsteilnehmer entweder in der Reaktionszone bleiben oder bei kurzzeitigem Entweichen mit gleicher Energie bzw. gleicher Temperatur in die Reaktionszone zurückkehren, wird mit dem Potentialtopf faktisch ein vollständig dichter Plasmaeinschluss erreicht.

Patentschrift) ge zeigt. Das eigentliche Reaktoraggregat ist darin im Schnitt im Massstab 1:4,25 dargestellt. Die Abmasse der einzelnen Reaktorteile können – soweit sie nicht näher in der Patentschrift präzisiert sind – mit diesem Massstab aus der Figur entnommen werden. Ausbildung und Wirkungsweise des Reaktors und seiner Einzelteile sind in der Patentschrift (deutscher Text, Seiten 27 bis 57) ausführlich beschrieben und erläutert.

Die seinerzeit 1955/56 bei dem von H. Grad konzipierten Fusionsreaktor noch offene Frage der Aufrechterhaltung scharfer Grenzen zwischen Plasma und Magnetfeld bzw. der eine solche Aufrechterhaltung ermöglichenden vollständigen Vermeidung des Entweichens von ionisierten Reaktionsteilnehmern aus dem Plasma in der Reaktionszone wurde bei dem in der Patentschrift beschriebenen Kernfusionsreaktor dadurch gelöst, dass der Bereich, wo bei dem von H. Grad konzipierten

Der in Bild 3 als schraffierter Bereich dargestellte Potentialtopf erstreckt sich allerdings viel weiter in radialer Richtung, als in Bild 3 dargestellt werden konnte, denn das Potential zwischen der Reaktionszone am Boden des Potentialtopfes und dem oberen Potentialtopf muss ja mindestens so sein, dass die gesamte kinetische Energie eines aus der Reaktionszone mit Fusionstemperatur von z.B. 100 Mio °K entweichenden ionisierten Reaktionsteilnehmers vor Erreichen des oberen Potentialtopfandes in potentielle Energie umgewandelt werden kann, und muss demgemäss bei dem Beispiel von 100 Mio °K mindestens 10 kV und praktisch zweckmässig über 50 kV betragen, und um solche Hochspannungen sicher beherrschen zu können, ist natürlich ein möglichst grosser Abstand zwischen oberem Potentialtopf und Reaktionszone von vorzugsweise mehr als dem 5-fachen des Reaktionszonenradius erforderlich. Bei einem so grossen Potentialtopf würden aber die Magnetflusslinien des von den beiden Spulen bzw. Drahtschleifen in Bild 3 erzeugten Magnetfeldes zumindest im oberen Teil des Potentialtopfes nicht parallel sondern im Winkel zu den Feldlinien des elektrischen Feldes im Potentialtopf verlaufen, was zur Folge hätte, dass die ionisierten Reaktionsteilnehmer nicht längs der elektrischen Feldlinien im Potentialtopf laufen sondern von dem Magnetfeld der Spulen abgelenkt würden. Um das zu verhindern und im Potentialtopf ein Feld mit im wesentlichen parallel zu den elektrischen Feldlinien verlaufenden Magnetflusslinien zu schaffen, sind bei dem in der Patentschrift beschriebenen Kernfusionsreaktor anstelle der beiden in Bild 3 gezeigten

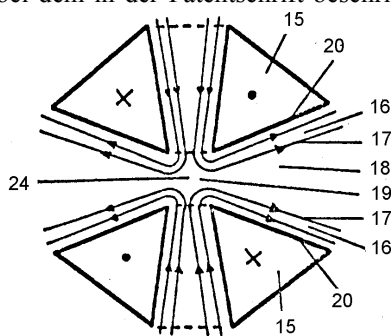


Bild 4

ten Drahtschleifen die beiden in Bild 4 gezeigten Spulen 15 mit im wesentlichen dreieckigem Wicklungsquerschnitt vorgesehen, die im Potentialtopf (Bereich 18) ein Magnetfeld 16 mit im wesentlichen in gleicher Richtung wie die elektrischen Feldlinien verlaufenden Magnetflusslinien 17 erzeugen. Durch die in Bild 4 gezeigte Ausbildung der Spulen 15 und des von diesen verursachten Magnetfeldes 16 wird somit eine magnetische Störung der Wirkungsweise des Potentialtopfes ausgeschlossen und sichergestellt, dass aus der Reaktionszone entwichene ionisierte Reaktionsteilnehmer bei ihrer Rückkehr genau auf die Reaktionszone 19 im Zentrum des Potentialtopfes zu beschleunigt werden und daher immer wieder in die Reaktionszone zurückkehren.

Ausser der seinerzeit bei Fusionsreaktoren nach den „Cusped Geometry Concept“ noch offenen Frage der Aufrechterhaltung scharfer Grenzen zwischen Plasma und Magnetfeld bzw. der eine solche Aufrechterhaltung ermöglichenden vollständigen Vermeidung des Entweichens von ionisierten Reaktionsteilnehmern aus dem Plasma in der Reaktionszone, die bei dem in der Patentschrift beschriebenen Kernfusionsreaktor durch den genannten Potentialtopf in Verbindung mit den Spulen mit dreieckigem Wicklungsquerschnitt gelöst ist, bestand ursprünglich nach den Angaben auf der gleichen Seite 140 des genannten Buches [7]

«How, for example, is it possible to create initially a configuration of this type, with sharp boundaries between plasma and field? Is it not essential to begin with a low-density plasma and then raise it up to high values? If so, is not the leakage intolerably great during the transition period until the boundary is formed?»

noch die Frage, wie die scharfen Grenzen zwischen Plasma und Magnetfeld anfänglich errichtet werden können bzw. wie die zur Erzielung dieser scharfen Grenzen erforderliche hohe Plasmadichte in der Reaktionszone anfänglich sozusagen schlagartig erreicht wird. Diese Frage war nach den Ausführungen von A. S. Bishop auf S. 140 i.Vbg.m.S. 144/145 seines Buches [7]

«The problem of producing a sharp initial boundary was, in turn, largely resolved by subsequent developments in shock techniques (see Chapter 15).»

im Prinzip dadurch gelöst worden, dass vor den Spitzen der im wesentlichen doppelkegelförmigen Reaktionszone (Bild 2) jeweils mittels einer Bogenentladung ein Plasma von hoher Plasmadichte erzeugt und mittels eines vom Entladungsstrom der Bogenentladung verursachten magnetischen Impulses schockartig durch die Spitze in die Reaktionszone befördert wurde (Bild 2, Pfeile vor den Spitzen). Bei dieser sogenannten Schock-Technik wurde also das (im wesentlichen neutrale) Plasma aus ionisierten Reaktionsteilnehmern und Elektronen ausserhalb der Reaktionszone erzeugt und unmittelbar anschliessend ausserordentlich schnell in die Reaktionszone befördert.

Bei dem in der Patentschrift beschriebenen Kernfusionsreaktor hingegen wurde die Frage der anfänglichen schlagartigen Erzeugung eines Plasmas von hoher Plasmadichte in der Reaktionszone im Prinzip

dadurch gelöst, dass der Reaktionszone 19 einerseits von einer am oberen Rand des Potentialtopfes 22 angeordneten ringförmigen Ionenquelle 21 (Bild 5) ionisierte Reaktionsteilnehmer und andererseits von in unmittelbarer Umgebung der Reaktionszone 19 angeordneten, auf Glühtemperatur

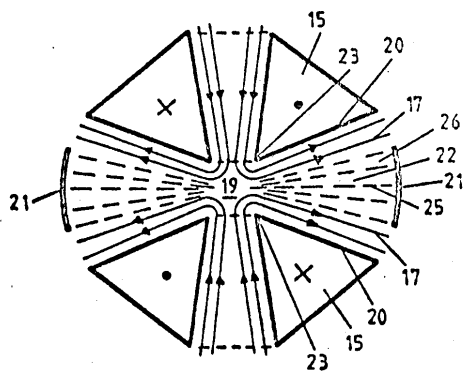


Bild 5

befindlichen metallischen Elektroden Elektronen zugeführt werden und die getrennt zugeführten Ionen und Elektronen erst innerhalb der Reaktionszone 19 dann zusammen das Plasma von hoher Plasmadichte bilden. Die hohe Plasmadichte ergibt sich dabei ohne besondere Massnahmen aufgrund von Reaktoraufbau und -betrieb praktisch von selbst, weil sich einerseits die von der Ionenquelle 21 gelieferten ionisierten Reaktionsteilnehmer 30 wie in Bild 6 angedeutet in der Reaktionszone im Zentrum des Potentialtopfes 22 mit einer Ionendichte von etwa dem 1000-fachen der an der Ionenquelle 21 herrschenden Ionendichte konzentrieren und andererseits das unter 1 kV liegende Austrittspotential der schon vor Einschaltung der Ionenquelle auf ca. 1300 °K erhitzten metallischen Elektroden in der unmittelbaren Umgebung der Reaktionszone (Patentschrift, deutscher Text, S.34,

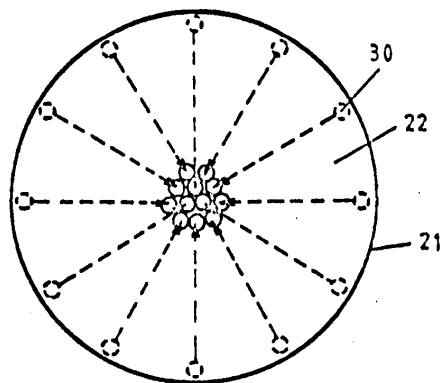


Bild 6

Z.35-39, i.Vbg.m. S.40 Z.38-42) sowie die Raumladung der Ionen in der Reaktionszone oder genauer gesagt die Raumladungsdifferenz zwischen Ionen und Elektronen in der Reaktionszone für eine der jeweiligen Ionendichte annähernd entsprechende Elektronendichte in der Reaktionszone sorgen. Die der Ionendichte nachlaufende Elektronendichte liegt dabei wegen der durch den Nachlauf bedingten Zeitverzögerung sowie wegen des eine Differenz zwischen Ionendichte und Elektronendichte bedingenden Austrittspotentials immer etwas unter der Ionendichte, so dass sich im Bereich der

Reaktionszone eine Potentialwanne von ca. 1 kV Tiefe bildet, in der sich die Elektronen im Zentrum der Reaktionszone ansammeln. Die Potentialwanne in Verbindung mit der scharfen Begrenzung des Plasmas durch das Magnetfeld bei der „Cusped Geometry“ hindert die nur eine dem Austrittspotential entsprechende kinetische Energie aufweisenden Elektronen am Verlassen der Reaktionszone. Bei dem in der Patentschrift beschriebenen Kernfusionsreaktor sorgt also der Potentialtopf nicht nur für einen faktisch vollständig dichten Plasmaeinschluss in der Reaktionszone sondern ermöglicht in Verbindung mit der Ionenquelle am oberen Potentialtopftrand auch die anfangs zur Errichtung der scharfen Grenzen zwischen Plasma und Magnetfeld erforderliche schlagartige Erzeugung eines Plasmas von hoher Plasmadichte in der Reaktionszone.

In erster Linie dient der Potentialtopf in Verbindung mit der Ionenquelle am oberen Potentialtopftrand jedoch zur Einleitung und Aufrechterhaltung der Kernfusion in der Reaktionszone: Denn die dem Potentialtopf 22 von der Ionenquelle 21 am oberen Potentialtopftrand zugeführten ionisierten Reaktionsteilnehmer 30 werden durch das Potentialgefälle im Potentialtopf 22 bis auf eine zur Fusion ausreichende kinetische Energie beschleunigt, so dass jeder in die Reaktionszone 19 im Zentrum 24 des Potentialtopfes 22 eintretende und innerhalb desselben befindliche ionisierte Reaktionsteilnehmer Fusionsenergie besitzt und daher bei Kollision mit einem anderen Reaktionsteilnehmer eine Kernfusionsreaktion eingeht. Bei Nichtzusammentreffen mit einem anderen Reaktionsteilnehmer in der Reaktionszone passieren die ionisierten Reaktionsteilnehmer mit einer ihrer kinetischen Energie entsprechenden hohen Geschwindigkeit $v_{\max}$ das Zentrum 24 des Potentialtopfes 22 und laufen auf der ihrer Zuführungsseite gegenüberliegenden Seite des Potentialtopfes 22 wieder gegen das Potentialgefälle mit abnehmender Geschwindigkeit auf den oberen

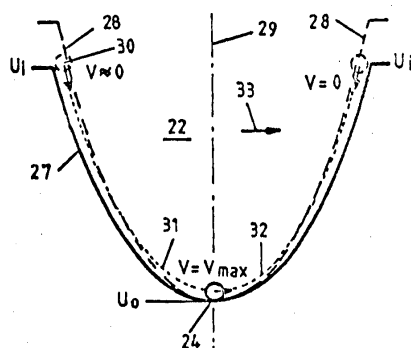


Bild 7

Potentialtopftrand zu, bis ihre kinetische Energie kurz vor Erreichen des Potentialtopfandes wieder in potentielle Energie umgesetzt ist (Bild 7) und sich damit der Vorgang der beschleunigten Bewegung auf das Potentialtopfzentrum 24 zu und der anschliessenden verzögerten Bewegung auf den Potentialtopftrand zu bis zu einer Fusionsreaktion in der Reaktionszone beliebig oft wiederholen kann und demzufolge ein

grosser Teil der dem Potentialtopf von der Ionenquelle zugeführten ionisierten Reaktionsteilnehmer zur Fusion kommt. Der Potentialtopf sorgt also auch dafür, dass die relativ grosse mittlere freie Weglänge der ionisierten Reaktionsteilnehmer bis zur Fusion bzw. die sich daraus ergebende relativ lange Laufzeit derselben bis zur Kernreaktion keine Probleme verursacht, und schliesst damit die Schwierigkeiten aus, die der Kernfusionsforschung auf dem bisher eingeschlagenen Weg mit der Aufrechterhaltung eines Plasmas bei Fusionstemperaturen über eine dieser Laufzeit entsprechende Dauer entstanden sind und bis heute noch nicht überwunden werden konnten.

Als Ionenquelle am oberen Potentialtopf 38 dient die in der am Ende angefügten Figur gezeigte ringförmige Glimmentladungskammer 37 mit einer nach Art eines Lenard-Fensters ausgebildeten, für Kanalstrahlen durchlässigen Kathode 39, die von einer dünnen Metallfolie und einem dieselbe tragenden, mit zylinderförmigen Durchlässen für die Kanalstrahlen versehenen gekühlten Stützorgan gebildet wird. Durch die Metallfolie sind Glimmentladungskammer 37 und Potentialtopf 22 gasdicht voneinander getrennt, so dass der Gasdruck in beiden Räumen den jeweiligen Erfordernissen angepasst werden kann. In der Glimmentladungskammer wird eine Deuteriumentladung aufrechterhalten, aus der einatomige Deuteriumionen als Kanalstrahlen die Metallfolie passieren und damit dem Potentialtopf 22 und über diesen der Reaktionszone 19 als ionisierte Reaktionsteilnehmer zugeführt werden.

Die Deuteriumionen sind in einer zur Erbrütung von Tritium dienenden Inbetriebsetzungsphase die einzigen zugeführten Reaktionsteilnehmer. Im stationären Reaktorbetrieb wird dann als weiterer Reaktionsteilnehmer über den Zuführungskanal 48 Tritium zugeführt, das aus Kernreaktionen von bei der Fusion entstandenen Neutronen mit dem durch den Einfangmantel 52 fließenden, zur Energieabführung dienenden Lithium stammt. Abgesehen von den Neutronen werden die Reaktionsprodukte sowie nicht zur Reaktion gekommene Reaktionsteilnehmer über den Abführungskanal 49 abgeführt.

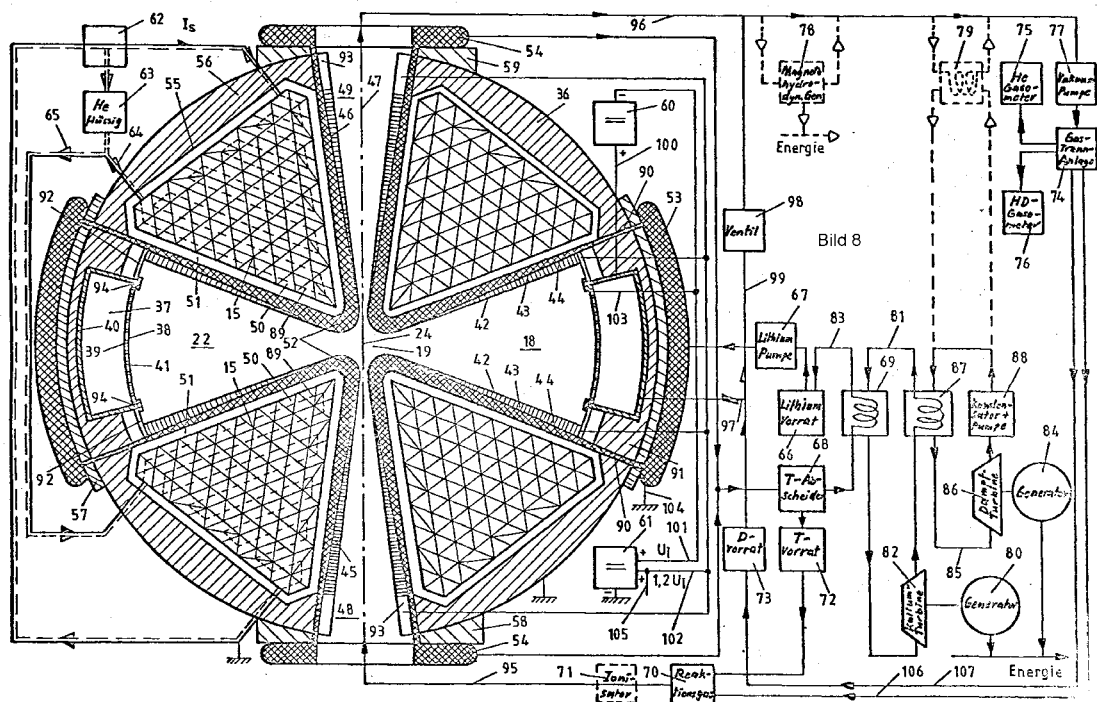


Bild 8

Die Wirkungsweise der übrigen Reaktorteile einschliesslich der Nebenaggregate ist in der Patentschrift beschrieben und aus der Kernfusionstechnik an sich bekannt und bedarf daher hier keiner näheren Erläuterung.

Abschliessend ist zu betonen, dass die Beseitigung der Ursachen des Treibhauseffektes eine Aufgabe ist, deren Bewältigung bei allem Verständnis für die oben erwähnten Schwierigkeiten der Kernfusionsforschung nicht mehr um ein halbes Jahrhundert aufgeschoben werden kann sondern nunmehr unverzüglich auf dem vom Nestor der Kernfusion gewiesenen Weg in Angriff genommen werden sollte, und dazu soll das vorliegende Projekt einen Beitrag leisten.

4. Kurzbeschreibung der Zeichnungen der dieses aussichtsreiche Konzept betreffenden Patente EP 0 438 724 und US 5,160,964

Prior Art
from "Project Sherwood"
by A.S. Bishop
page 141, Fig. 14-1c

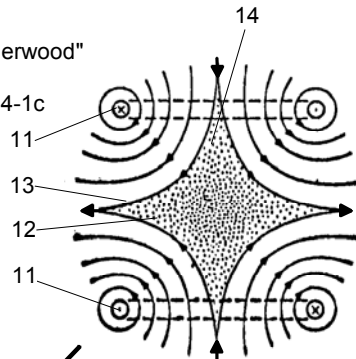


Fig. 2a

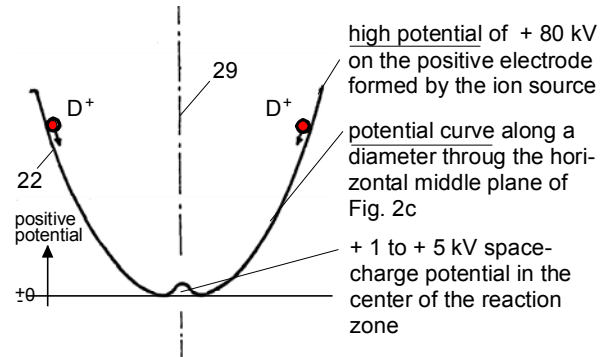


Fig. 3

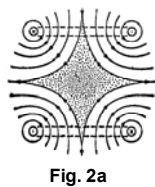


Fig. 2a

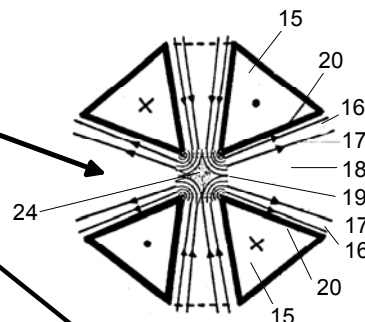


Fig. 2b

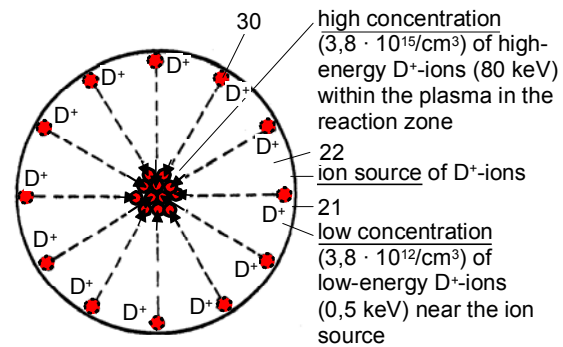


Fig. 4 cross-section through the horizontal middle plane of Fig. 2c

ion source emitting from their whole area channel rays of D⁺-ions in central direction, the ion source forming also the positive electrode of the acceleration space having high potential of 80 kV

acceleration space with high vacuum (1,33 μbar) containing only D⁺-ions accelerated when flowing in central direction to the plasma and decelerated when flowing in radial direction away from the plasma

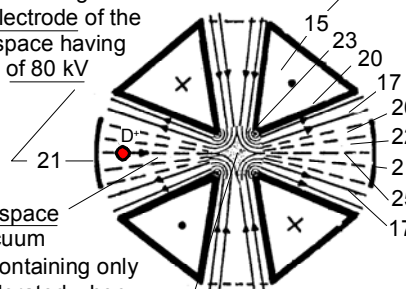


Fig. 2c

magnetic coil with triangular cross-section for producing magnetic flux lines running in the acceleration space about in parallel to the electric field lines (the magnetic field of the cusp geometry is essential produced by the vertex of the triangular magnetic coil)

21-ion source of D⁺-ions

25-electric field lines

magnetic flux lines running about in parallel to the electric field lines therefore not disturbing electric acceleration of the D⁺-ion to the plasma in the center

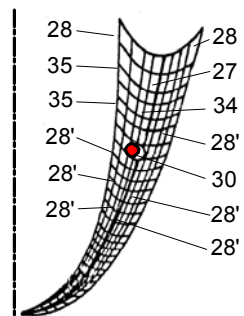
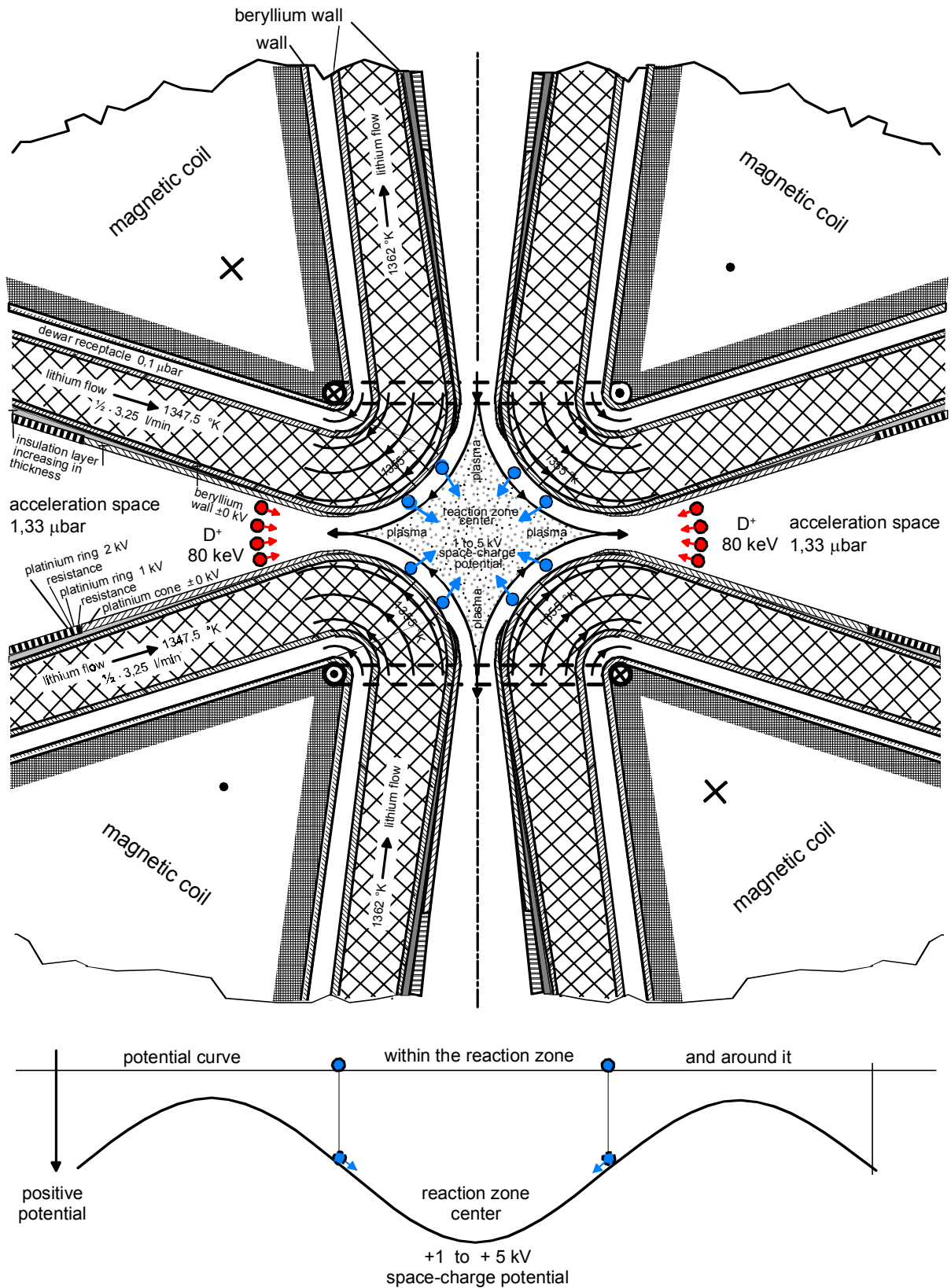


Fig. 5

reaction zone with plasma of high-energy D⁺-ions (80 keV) of high-density ($3,8 \cdot 10^{15}/\text{cm}^3$) and low-energy electrons (1 to 5 keV) of somewhat lower density, the density-difference resulting in a space charge potential in the center of the reaction zone of about + 1 to + 5 kV, this space charge potential drawing electrons out of the red hot negative electrodes of ground potential ± 0 V formed by the metal walls for the blanket of liquid lithium arranged around the reaction zone, the lithium and therefore also the negative electrons having a temperature of 1355 °K (see enlarged and more specified center of Fig. 2c on the next page).

Enlarged and more specified center of Fig 2c (and of the reactor 36 in Fig 6 of the patent)

Scale 8 : 1 to Fig. 2c and 5 : 1 to Fig. 6



Kommentar zur Kurzbeschreibung der Zeichnungen der Patente EP 0 438 724 und US 5,160,964

My original idea was to shoot for each D^+ -ion escaping out of the plasma maintained in a cusped geometry a new D^+ -ion into this plasma by means of a vacuum tube arrangement around the leakage range of the cusped geometry. Since the escaping D^+ -ions are high-energy ions, also D^+ -ions shot into the plasma must be high-energy ions, and in consequence thereof, said vacuum tube arrangement must comprise an acceleration space around said leakage range of the cusped geometry for accelerating D^+ -ions in the direction to the plasma so that they are high-energy ions when entering the plasma.

For such acceleration of the D^+ -ions directly to the plasma, magnetic deflection of the D^+ -ions on their way to the plasma must be avoided, and this is only possible without a magnetic field in the acceleration space or with a magnetic field having magnetic flux lines running essentially in parallel to the electric field lines in the acceleration space. Such a magnetic field is produced by the magnetic coils with triangular cross-section shown in enclosed Fig. 2 c, i.e. the object of the triangular form of cross-section of the magnetic coils is to exclude a disturbance of the acceleration of the D^+ -ions directly to the plasma in the center of Fig. 2 c, whereas the magnetic field of the cusped geometry in the center of enclosed Fig. 2 c is – as illustrated there – essentially produced by the vertex of the triangular magnetic coils, in other words, the cusped geometry in the center of enclosed Fig. 2 c is (in accordance with my intention not to enter into the regions of plasma physics) exactly the same as that of the prior art shown in enclosed Fig. 2 a (now illustrated on the enclosed illustration sheet by an additional Fig. 2 a in reduced scale and by arrows from Fig. 2 a to this scaled down Fig. 2 a and from this scaled down Fig. 2 a to the center of Fig. 2 c and Fig. 2 b).

With this regard, my drawings in the patent are evidently not very instructive but can lead because of the different scales of Fig. 2 a on the one hand and Fig. 2 b and 2 c on the other hand to misunderstandings.

For, the confinement of the ions is effected – as same as in the prior art shown in enclosed Fig. 2 a – in the first line by said cusped geometry in the center of Fig. 2 c, and only for the small percentage of ions escaping out of the plasma maintained in the cusped geometry in the center of Fig. 2 c, the acceleration space (called „potential pot“ in the patent) around this cusped geometry functions as a kind of electrostatic confinement in that the ions escaping out of the plasma are decelerated in said „potential pot“ until zero and then accelerated again back to the plasma.

In the main, however, the acceleration space or „potential pot“ around the cusped geometry in the center of enclosed Fig. 2 c serves to accelerate fresh D^+ -ions coming from the ion source surrounding the acceleration space, so that these D^+ -ions reach the cusped geometry in the center of enclosed Fig. 2 c with high energy and are therefore introduced (through said leakage range) into the plasma within the cusped geometry at high energy.

Of course, the D^+ -ions running in the range of the horizontal middle plane of Fig. 2 c from the ion source to the cusped geometry in the center of Fig. 2 c will pass the plasma within the cusped geometry, when they are not deflected or reflected by other D^+ -ions during their passing, and will then leave the plasma after such passing (thereby forming high-energy D^+ -ions escaping out of the plasma), however the probability of such passing without deflection or reflection is only in the beginning of the operation not inconsiderable, whereas after collecting more and more deflected D^+ -ions in the plasma within the cusped geometry, this probability becomes relatively small and increases only slightly said small percentage of escaping ions.

In general, therefore, the ion confinement is effected in my proposal in the same way as in the prior art by the cusped geometry, and the difference between my proposal and the prior art with respect to the ions is only a vacuum tube arrangement (for ions instead of electrons) surrounding the cusped geometry for bringing the ions leaving the plasma with the same high energy back to the plasma. With respect to the electrons, however, there is a functional difference between my proposal and the cusped geometry of the prior art: The confinement of hot electrons in a cusped geometry is problematic, as known to men skilled in the art. Therefore, in my proposal the electrons are brought into the plasma within the cusped geometry in the center of Fig. 2 c separately from the D^+ -ions in form of cold electrons emitted by thermoionic emission from the beryllium-hot-cathode formed by the beryllium walls for the blanket of liquid lithium arranged around and adjacent to the reaction zone within the cusped geometry (see with this respect the graphic illustration on the illustration sheet).

The confinement of these thermoionic electrons in the plasma within the cusped geometry is effected electrostatically by the space-charge potential of the plasma (see potential curve at the lower end of said graphic illustration). This confinement of the electrons in the plasma is indeed also not very strong, because the space-charge potential in the center of the plasma becomes zero with equal numbers of electrons and ions in the plasma resulting in disappearing of said electrostatic confinement and because the cusped geometry alone is not very effective in confinement of low-energy particles such as the cold electrons emitted into the plasma by thermoionic emission from said hot beryllium walls adjacent to the plasma, however, since electrons are not reaction members in fusion reactions, the escape of electrons out of the plasma has only the effect that the space charge potential in the center of the plasma raises to positive values and therewith the number of electrons emitted from the beryllium-hot-cathode per time unit raises (corresponding to the space-charge characteristic of electron tubes) until an equilibrium between the number of escaping electrons per time unit and the number of electrons emitted from the beryllium-hot-cathode into the plasma per time unit and therewith a quasi-steady-state of the plasma with a constant number of electrons in the plasma is reached and a quasi-completely confinement of electrons (with a steady potential curve as that at the lower end of said graphic illustration and therefore with a steady electrostatic confinement of electrons in the plasma) is thereby established.

With this automatic regulation to a constant number of electrons in the plasma, the problems of „life-time of the electrons before escaping“ and of neutralization of electrons in the center of the plasma by sputtered ionized atoms do not appear, since each escaped or neutralized electron is right away replaced by a new electron emitted from said beryllium-hot-cathode.

The only one condition for reaching and maintaining said quasi-steady equilibrium with automatic regulation to a constant number of electrons in the plasma is to establish before the beginning of operation (i.e. before switching-on the high potential to the positive electrode formed by the ion source) the liquid lithium flow with temperatures of the lithium enough for said thermoionic emission from said beryllium walls and further the magnetic field of the cusped geometry with a constant maximum field strength, so that from the moment of the beginning of operation always enough emitted electrons are available and the magnetic field of the cusped geometry is immediately effective.