تاریخچهٔ

ایتِـر

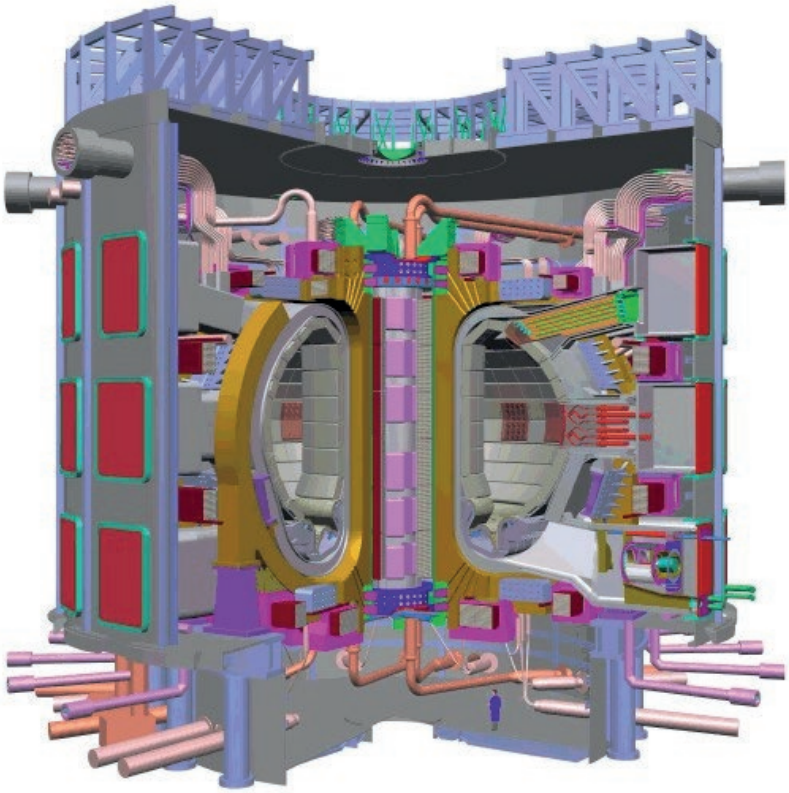
و پیشبینی اضمحلال احتمالی آن

نوشتهٔ ژان پییر پُتی

مدیر پیشـــین پژوهش مرکز ملّی تحقیقات علمی فرانسه CNRS
فیزیکدان پلاسما، متخصّص ام. اچ. دی (مگنتو هیدرودینامیک MHD)

ترجمهٔ هوشنگ پژمان

ایتِر نخستین مرحله از یک پروژهٔ فرعونی ۱۶ میلیارد یورویی است
که فقط در انتظار یک منبع مالی برای شروع به حرکت است



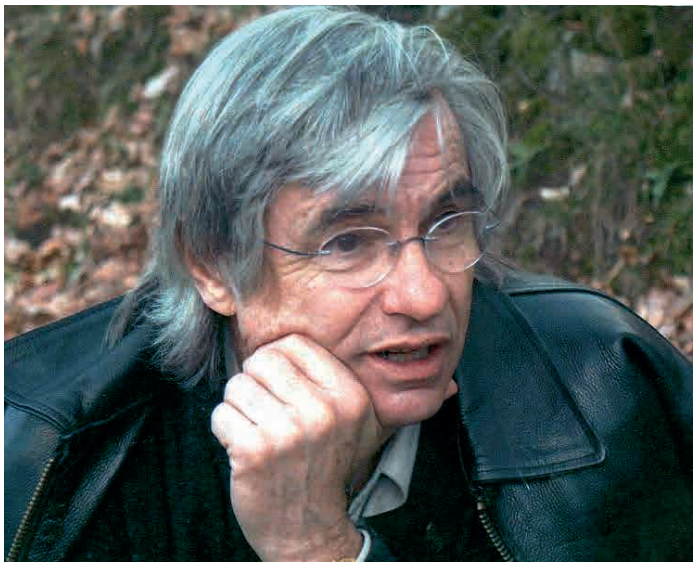
تصویر ۱-۱۴ : شِماتیک برش عرضی ایتِر
(مأخذ : ITER Organization)

ITER
(راکتور گرماهسته‌ای آزمایشی بین‌المللی)
International Thermonuclear Experimental Reactor
Réacteur Thermonucléaire Expérimental International

دانستن بدون مرز

Savoir sans Frontières

تابع قانون ۱۹۰۱



ژان پییر پُتی، رئیس انجمن

Jean-Pierre PETIT, Président de l'Association

پرفسور ژان پییر پُتی، دانشمند و مدیر پیشین پژوهش مرکز ملّی تحقیقات علمی فرانسه (CNRS)، دکتر و فیزیکدان در زمینه های کیهان شناسی و نجوم، پلاسما، مکانیک سیّالات، مغناطیس هیدرودینامیک و مغناطیس آیرودینامیک، و همچنین نویسندهٔ بیش از ۳۰ اثر علمی بویژه در زمینهٔ هوا–فضا است.

وی آفرینندهٔ یک سبک نو پدید در اسلوب مجموعه داستانهای مصوّر علمی است.

در سال ۲۰۰۵ میلادی (۱۳۸۳ هـ.ش)، با یکی از دوستان خود بنام ژیل داگوستینی، انجمن «دانستن بدون مرز» را با هدف عامّی سازی و توزیع و ترویج رایگان دانسته ها در جهان، نه تنها علمی و فنّی، تأسیس نهاد.

مترجمین بسیاری، تاکنون مجموعه های وی را به ۲۸ زبان گوناگون از جمله به لائوسی و روئاندایی برگردان نموده اند، و هر بار، تخصیص صد و پنجاه یورو (در سال ۲۰۰۷ میلادی) از هزینهٔ مالی انجمن را که با حسب عهده دار شدن مخارج بانکی، منحصراً به حدّت وجوه نیکوکاران و خیّرین تأمین و پیشریز شده است را، ویژهٔ خود نموده اند.
هم اکنون بیش از ۴۰۰ عدد از این مجموعه ها به زبانهای مختلف، بطور رایگان از طریق اینترنت قابل دانلود هستند.

این فایل PDF که در پیش روی دارید، آزادانه، بطور کامل و یا جزئی، منوط بر عدم منفعت مادّی، قابل کُپی و تکثیر توسّط دبیران و آموزگاران است، همچنین، میتوان آنرا چه به روش دیجیتال و چه به روش چاپی، مشروط بر اینکه هیچگونه منفعت مالی از این فعالیت حاصل نشود، از طریق شبکه های رایانه ای مدارس و دانشگاه ها، و از طریق کتابخانه های شهری در اختیار عموم قرار داد.

نویسنده، اقدام به تکمیل گردآوری مجموعه ها، ابتدا توسّط مجموعه های ساده تر برای سنین ۱۲ سال کرده است.
به همچنین مجموعه های متکلّم رایانه ای برای بیسوادان را، در دست تدارک دارد، بدینسان که ایشان با قرار دادن موشواره بروی تصاویر، متن نوشته شده را به واسطهٔ خوانده شدن متن متکلّم از پیش ضبط شده در فایل، شنود مینمایند، و نیز برای کسانی، که مایل به فراگیری زبانی دیگر با اتّکا بر زبان اوّلیهٔ خود هستند.

انجمن، دائماً در تکاپوی مترجمین با صلاحیّت و مسلّط بر جنبهٔ فنّی این مجموعه ها برای برگردان به زبان مادریشان است.

جهت تماس با انجمن، به سایت زیر مراجعه شود

http://www.savoir-sans-frontieres.com

قابل توجّه اهداگران ارجمند

برگهٔ مشخصّات بانکی انجمن «دانستن بدون مرز» :

Savoir sans Frontières

واریز از طریق بانکهای داخلی فرانسه : ◄ **Relevé d'Identité Bancaire (RIB) :**

Etablissement	Guichet	N° de Compte	Clé RIB
20041	01008	1822226V029	88

Domiciliation : La banque postale
Centre de Marseille
13900 Marseille CEDEX 20
France

واریز از طریق بانکهای ایران و سایر کشورها :

International Bank Account Number (IBAN) :

IBAN
FR 16 20041 01008 1822 226V029 88

و همچنین :

Bank Identifier Code (BIC) :

BIC
PSSTFRPPMAR

اساسنامهٔ انجمن (به زبان فرانسوی) بر روی سایت اینترنتی انجمن موجود میباشد. حسابداری انجمن، بطور زنده و مستقیم و بطور آنلاین از طریق سایت اینترنتی انجمن قابل دسترسی میباشد. انجمن، از روی وجوه اهدایی، بجز مبالغ مربوط به هزینه های نقل و انتقالات بانکی، اقدام به هیچگونه برداشتی بنفع خود نمینماید، بطوریکه مبالغ واریز شده به حساب مترجمین، سر راست و دقیق باشند.

انجمن هیچیک از اعضای خود را که همگی داوطلب هستند به استخدام خود در نمیآورد. اعضا، تمامی مخارج عملیاتی انجمن را، بخصوص مخارج مدیریّت سایت اینترنتی را که انجمن متعهّد آن نمیشود، به تنهایی متحمّل میشوند.

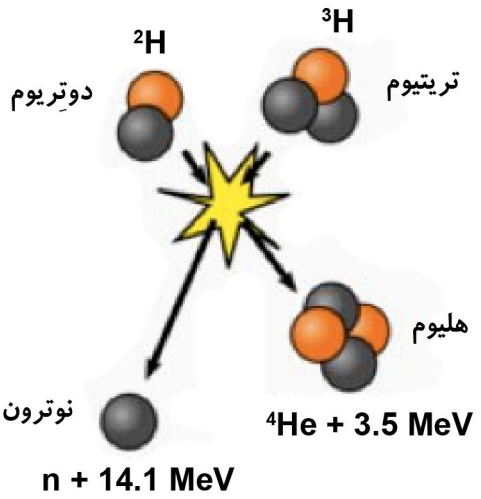
بدین ترتیب، شما میتوانید اطمینان خاطر حاصل نمایید که هر آنِ وجهی که شما به این «اثر فرهنگی انساندوستانه» اهدا نمایید، تمام و کمال و منحصراً به پرداخت مترجمین اختصاص خواهد یافت.

ما بطور میانگین، حدود ده ترجمه در ماه، به زبانهای گوناگون،
بر روی سایت اینترنتی انجمن قرار میدهیم.
با سپاس

http://www.savoir-sans-frontieres.com

کمتر افرادی هستند که اصول پایهٔ دستگاه هایی را که از این دستگاه اولیّهٔ ایتِر الگو گرفته اند و به ژنراتورهای الکتریکی که از فوزیون هسته ای به عنوان منبع سوختی استفاده میکنند ختم میشوند را میشناسند.
تصویر زیر، نمایانگر این ژنراتور انرژی-گرمایی است که میباید پس از ۵۰ سال پژوهش و توسعه، منتهی به ژنراتورهای هسته ای الکتریکی با استفاده از انرژیِ آزاد شده توسط فوزیون دو ایزوتوپِ هیدروژن، یعنی دوتِریوم و تریتیوم بشود.

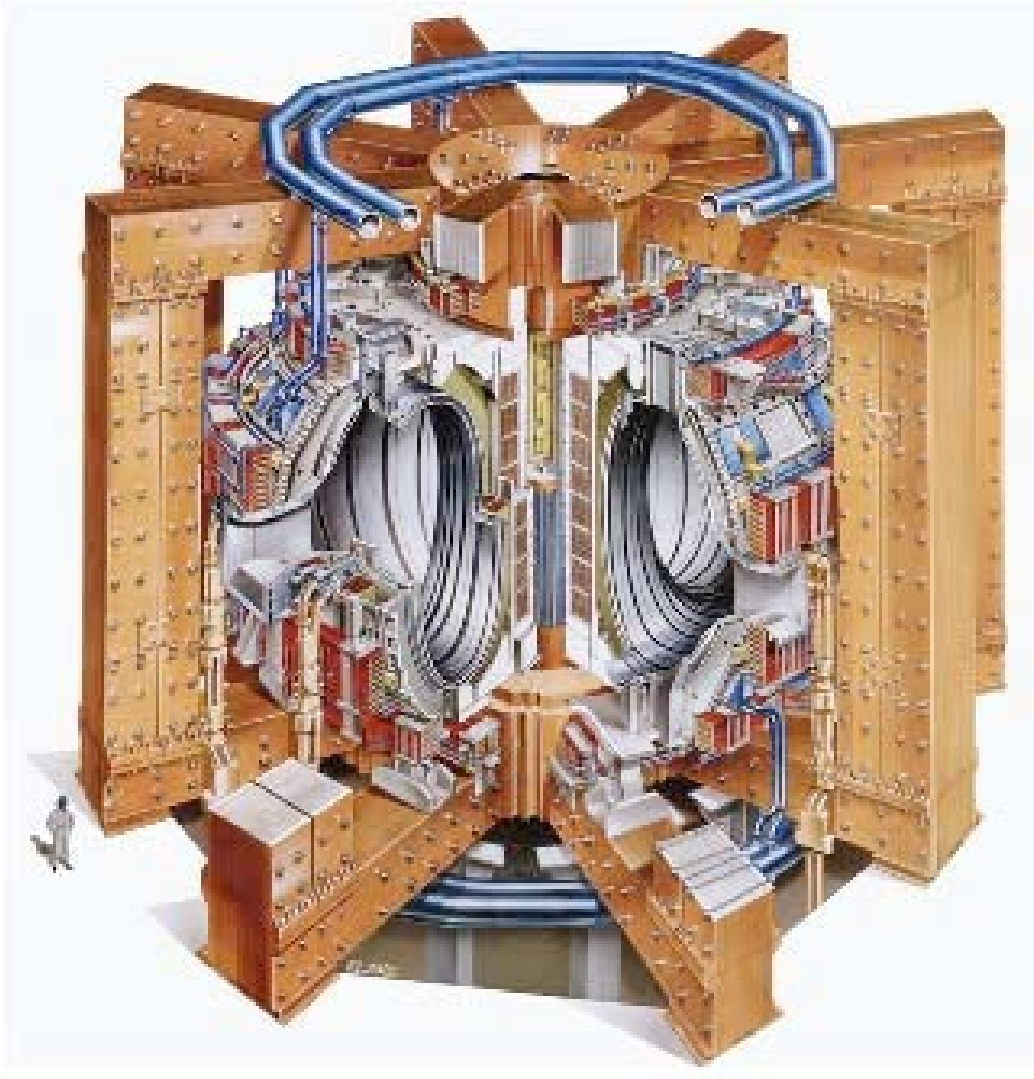
شِماتیک این فوزیون را در زیر مشاهده فرمایید :



برای اینکه این واکنش هسته ای بتواند تولید شود، میبایست که دما به ۱۰۰ میلیون درجهٔ سانتیگراد برسد، چیزی که باعث میشود سرعت جنبش گرمایشی هسته های ایزوتوپ هیدروژن به ۱۰۰۰ کیلومتر بر ثانیه برسد.
محیطی که به این درجه از گرما برسد، نمیتواند در یک جدارهٔ مادّی بگنجد.
به همین دلیل، از همان سالهای ۱۹۵۰ (۱۳۲۹ هـ ش) به بعد سعی بر محصور کردن مغناطیسی اینچنین پلاسمای کاملاً یونیزه ای شد، یعنی محصور کردن مخلوطی از الکترونهای آزاد و یونهای هیدروژن با بکار گرفتن یک میدان مغناطیسی.

تصوّر خَلق «بطری مغناطیسی» که حاوی این پلاسمای فوزیونی است، در ذهن آندره ساخارُف روسی در سال ۱۹۵۰ میلادی (۱۳۲۹ هـ ش) نقش بست و نام توکامَک (Tokamak) را به خود گرفت.
این دستگاه از یک اطاق چنبره ای شکل تشکیل شده، که با مخلوطی از دوتِریوم و تریتیوم تحت فشار کم پر میشود.

دوتِریوم بی زیان است و به مقدار نامتناهی در آب و در همهٔ طبیعت وجود دارد.
تریتیوم رادیوتوکسیک (تشعشع سمّی Radiotoxic) است و توسط رادیواَکتویتهٔ بِتا
در طول ۱۲,۳ (دوازده ممیز سه) سال تجزیه میگردد.
مقادیر بوجودآمده در اتمسفر فوقانی توسط پرتوهای کیهانی که روی هسته های ازُت تأثیر میگذارند
بقدری ناچیز است که میتوان گفت که «تریتیوم درحالت طبیعی وجود ندارد» : تریتیوم موجود پدیدآمده
از این طریق روی کرهٔ زمین، ۳,۶ (سه ممیز شش) کیلوگرم برآورد شده است.
در سال ۱۹۹۷ (۱۳۷۶ هـ ش) بود که انگلیسی ها به مدّت یک ثانیه، موفّق به تولید انرژی فوزیونی
از طریق این نوع واکنش در دستگاه جِت (Joint European Torus : JET) شدند.



دستگاه جِت (JET) انگلیسی
شخص کوچکی که در تصویر دیده میشود، بیانگر مقیاس عظیم الجسهٔ این دستگاه است

هشت تیرچهٔ فولادی عظیم، که دستگاه را در حصار کشیده اند قابل تشخیص هستند.
به چه دلیل سطح مقطع های به این غول آسایی بکار برده شده است ؟
بدین جهت که میدان مغناطیسی بوجود آمده توسط دستگاه، ۳٫۸۵ (سه ممیز هشتاد و پنج) تِسلا (Tesla)، نیروی قابل توجهی را پدید میآورد که تمایل به انفجار سیم لوله هایی (سُلِنوئید Solenoide) که میدان مغناطیسی را فراهم کرده اند دارد، به همین دلیل، نیرو باید به طرز بسیار قوی مهار شود.

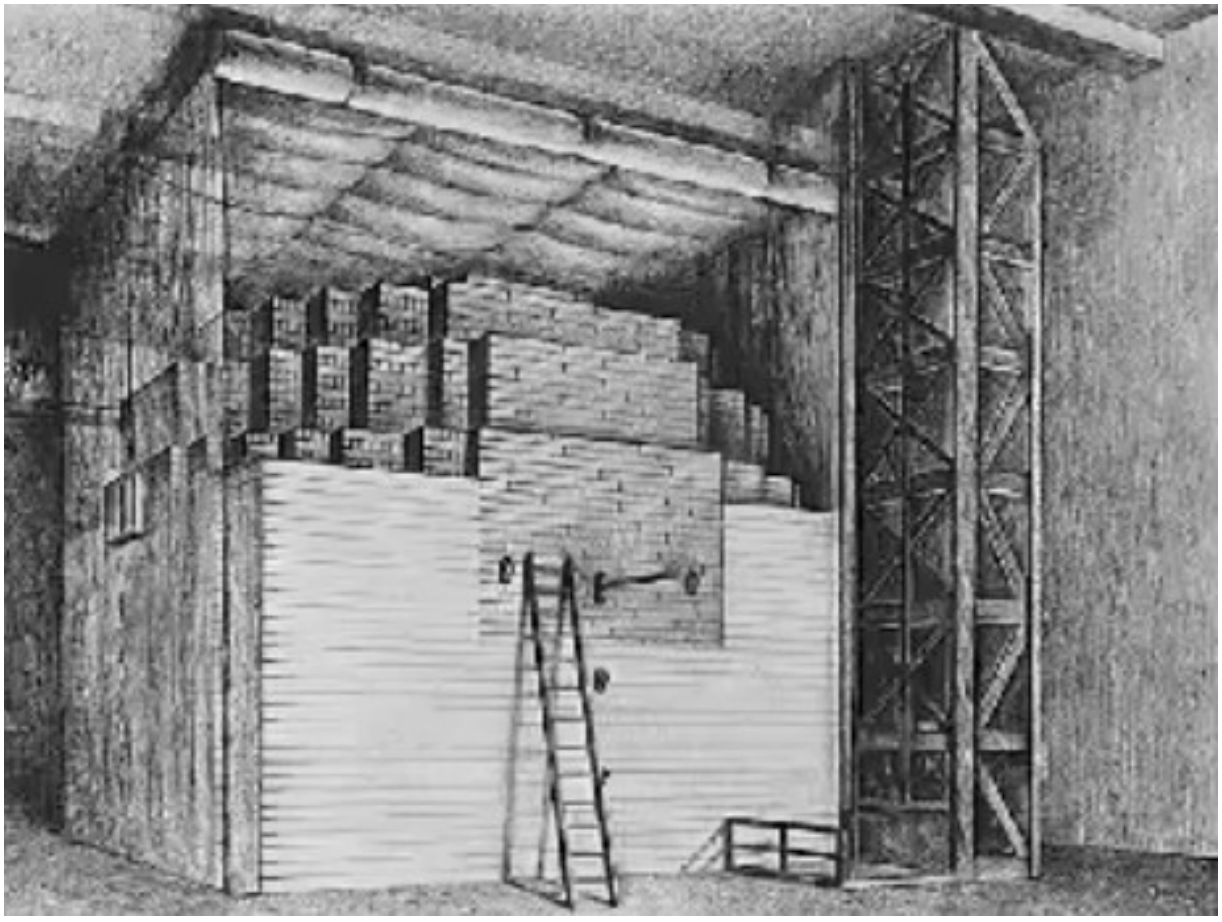
کمی بعد خواهیم دید این دستگاه ها چگونه کار میکنند.
درون جِت، میدان مغناطیسی توسط سیم لوله هایی (سُلِنوئید) که ابررسانا نیستند به عمل میآید. بنابراین، میدان مَغناطیسی تولید شده، بخاطر گرمای شدیدی که توسط اثر ژول (Joule Effect) متصاعد میشود نمیتواند بیش از چند ثانیه دوام آورد .

فرانسویها دستگاه مشابهی ساختند که در آن نیروی میدان مغناطیسی به همان میزان میرسد، ولی به سبب تولید توسط بوبین های ابررسانا، میتواند بدون محدودیت زمانی حفظ و نگهداری شود. کافیست برای اینکار آنها را با هلیوم مایع تا درجه حرارت بسیار کم سرد کرد.
همانند جِت، این دستگاه اَبَر–چنبره (Tore-Supra) نیز میبایست با استفاده از یک سیستم تیرچهٔ فولادی، به طرز بسیار محکمی مهار شود.
شکل کلّی ابر– چنبره (Tore-Supra) مشابه جِت (JET) است، امّا کوچکتر. تصویر آنرا در بعد خواهیم دید.

از فیسیون تا فوزیون (از شکافت هسته ای تا همجوشی هسته ای)

قبل از گسترده کردن مبحث تولید انرژی از طریق فوزیون، جالب توجّه است که چند تصویر ارائه گردد که بخودی خود، ژرفای پیچیدگیی که تکنولوژی فیسیون را از تکنولوژی که فوزیون «مهار شده» نام گرفته است بیان میکنند.
پیش از جنگ جهانی دوّم (۴۵-۱۹۳۹ میلادی) دانشمندان، امکان بعمل آوردن یک واکنش زنجیره ای بر مبنای اتم هایی مثل اورانیوم ۲۳۵ را شناسایی کردند. بعدها مشخص شد که چنین فرآیندی را میتوان با پلوتونیوم ۲۳۹ (البته واضحاً برای ساخت بمب)که در طبیعت وجود نداشت نیز بعمل آورد.
(چراکه طول عمر آن بسیار کم است. طول عمر ۲۴۰۰۰ سال در مقایسه با طول عمر ۴ میلیارد و نیمی اورانیوم ۲۳۵)

در سال ۱۹۴۲ میلادی (۱۳۱۸ هـ ش) اِنریکو فِرمی (Enrico Fermi) ایتالیایی، دستور ساخت اوّلین راَکتور هسته ای را در یک سالن قدیمی اسکواش که زیر پلّه های استادیوم دانشگاه شهر شیکاگو قرار داشت را داد. ساخت آن بسیار آسان بود. کافی بود میله های محتوی اورانیوم را در میان انبوهی از بلوکهای گرافیتی (کربن متبلور Graphite) که نقش اعتدال دهنده و کند کنندهٔ نوترون ها را ایفا میکنند، قرار داد.
در حقیقت، با کند کردن نوترون های منتشر شده هنگام واکنش فیسیون، شانس اینکه در اتم های اورانیوم ۲۳۵ مجاور نیز فیسیون ایجاد کنند، افزایش پیدا میکرد.



اوّلین رِاکتور هسته ای،
ساخته شده در شیکاگو توسط فِرمی (Fermi) در سال ۱۹۴۲ میلادی (۱۳۱۸ هـ ش)

تعداد زیادی از اینگونه دانش و تکنیک های هسته ای، در قالب یک داستان مصوّر
تحت عنوان «ارادتمند شما، انرژی» «Energétiquement Vôtre»
در بخش فارسی سایت اینترنتی انجمن «دانستن بدون مرز»
بطور رایگان در دسترس شما میباشد.

http://www.savoir-sans-frontieres.com/download/per/energetiquement_votre.htm

همانطورکه در داستان مصوّر ذکر شده توضیح داده شده است، یک راکتور هسته ای توسط نرده هایی از جنس کادمیوم جاذب نوترن تکمیل میشود که نوترون ها را به خود جذب کرده و باعث کنترل ریتم فیسیون و حتّی متوقف کردن راکتور میشوند.
در عکس زیر، نرده های کنترل اولّین راکتور ساخته شده توسط فِرمی دیده میشوند.

کنترل راکتور توسط نرده های کادمیومی

با ساختن این "باتریهای اتمی" طبق آنچه درآن زمان نامیده میشدند، دانشمندان در جستجوی تولید انرژی حرارتی نبودند، بلکه قصد تولید پلوتونیوم ۲۳۹ از طریق بمباران کردن اورانیوم ۲۳۸ توسط نوترون ها را داشتند، و این، با هدف ساخت بمب.

در مورد این مسئله میتوانید داستان مصوّر ذکر شده در بالا تحت عنوان «ارادتمند شما، انرژی» را ملاحظه فرمایید.

http://www.savoir-sans-frontieres.com/download/per/energetiquement_votre.htm

http://www.savoir-sans-frontieres.com

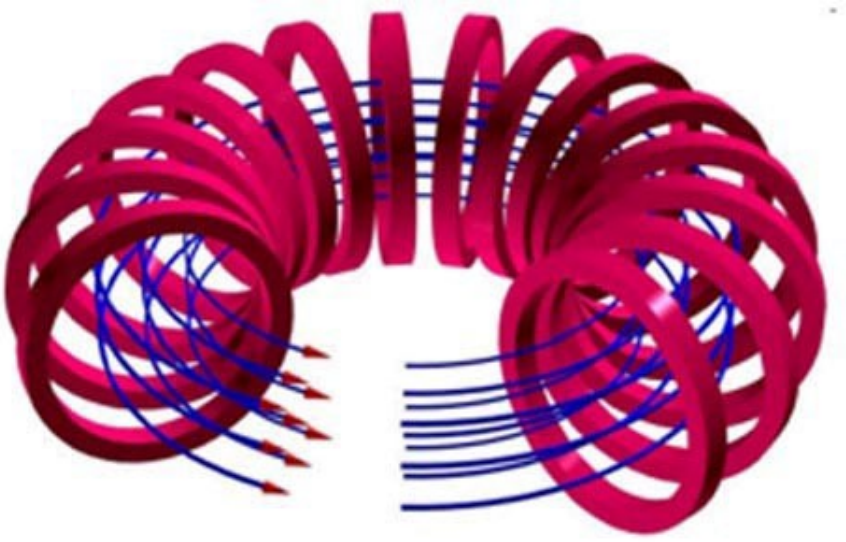
آن اوّلین راکتور، به سیستم سرمایشی احتیاج پیدا نکرده بود، زیرا بیش از ۲۴۰ وات گرما متصاعد نمیکرد. در عین حال در آن زمان تمامی پدیده ها به اندازهٔ کافی درک و مهار شده بـودند تا بتوان به سراغ راکتوری در پایگاه هانفورد (Hanford) رفت که یک میلیون برابر بیشتر انرژی تولید میکرد.
اینبار ۲۴۰ مگاوات حرارتی، از طریق جریان آبی که به رودخانهٔ کلمبیا (Colombia) سرازیر میشد، رها میگشت.

خیلی بعدها بود که فکر تولید نیرو توسط راکتورهای هسته ای و تبدیل آن به برق به کمک مجموعه ای از توربین های بخار به اضافهٔ آلترناتور، از ذهن ها گذشت. ولی میبینیم که اگر هدف نخستین چنین بود، فقط چند ماه برای به اتمام رساندن یک نیروگاه که صدها مگاوات برق تولید کند کافی میبود.

فوزیون بینهایت پیچیده تر و مُشکلسازتر است.
در حقیقت نیم قرن لازم شد تا یک راکتور انگلیسی بنام جِت (JET) به مدّت یک ثانیه نیرو تولید کند.

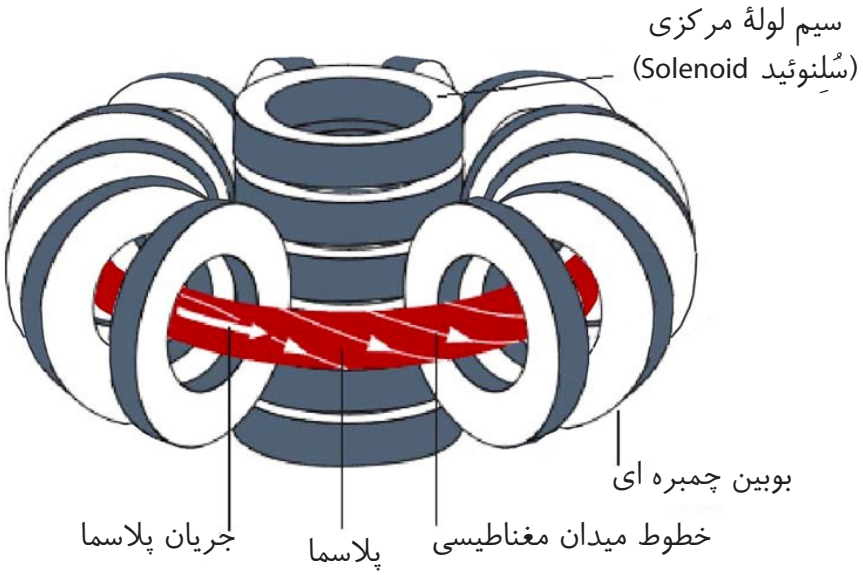
طرز کار یک توکامَک (Tokamak) چیست ؟

مخلوط فوزیون با فشار کم را در اطاق چنبره ای شکل داخل مینماییم. به کمک یک مجموعهٔ اوّلیه متشکّل از چند بوبین، یک میدان مغناطیسی معروف به چنبره ای، پدید میآوریم.
در یک راکتور با اهداف صنعتی، بوبین ها از اجزاء ابررسانایی تشکیل میشوند.



قرمز : بوبین های ابررسانا
آبی : خطوط میدان مخغناطیسی « چنبره ای»

سپس، به کمک هایپرفرکانس ها (فوق بسامدها)، محتوی اتاق چنبره ای را یونیزه مینماییم.
درآخر، از طریق القاء با افزایش تدریجی میدان مغناطیسی پدیدآمده توسُط یک سیم لوله (سُلِنوئید) که در جهت محور سامانه قرار داده شده است، یک جریان پلاسما بوجود میآوریم.



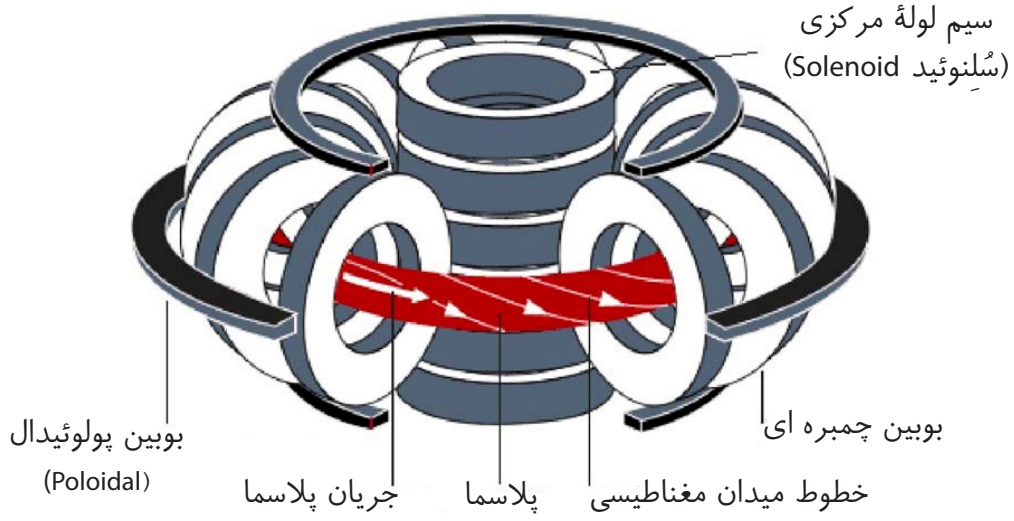
پلاسما به رنگ قرمز نمایش داده شده است.
این جریان پلاسما، تشکیل دهندهٔ میدان مغناطیسی خودش بنام «پولوئیدی» (Poloidal) است، که با میدان مغناطیسی پدیدآمده توسّط بوبین ادغام شده، و خطوط مارپیچی تشکیل میدهد.

زمانیکه دمای پلاسما به ۱۰ (ده) میلیون درجهٔ سانتیگراد میرسد، الِکترون ها در این محیط کم تراکم بقدری سریع پیشرفت میکنند که از کنار یون ها، بدون تأثیر بر یکدیگر، میگذرند. اثر ژول که منتج از برخورد الکترون ها و یون هاست، ازبین میرود. پس میتوانیم گمان کنیم که محیط، ابررسانا میشود.
در واقع لارم است که جریان پلاسما را، با کمک امواج تدریجی مشابه انچه در شتاب دهنده های ذرّات بکار میرود، حفظ کنیم.
این تحریکات رانشی واردآمده به الکترون ها، اتـلاف هایی که در غیاب چنین رانش جاری (current drive)، میزان جریان پلاسما را در عرض یکهزارم ثانیه به صفر میرسانند را، جبران میکنند.

یک نکتهٔ جزئی : کسی نمیداند چگونه میتوان این اتـلاف ها را نمونه سازی کرد.

یک سیستم مضاعف چنبره ای که جریان برق آن توسّط رایانه کنترل میشود، اجازهٔ کنترل وضعیت پلاسما در جهت بالا-پایین را میدهد.

پس تصویر زیر مصداق بر شِماتیک کامل یک توکامک دارد.



شِماتیک یک توکامک

این سیستم امکان دسترسی به درجه حرارت حدّ اقل ۱۰۰ (صد) میلیون درجه که موجب ایجاد واکنش های فوزیونی خود-تنظیم میشود را نمیدهد. پس در اینصورت وسایل گرمایشی از قبیل هایپِرفرکانس (فوق بسامد) و تزریق نوترون (انژِکسیون) دخیل کرده و به آن اضافه میکنیم.
به همین موهبت بود که در سامانهٔ جِت، واکنش فوزیون به مدّت یک ثانیه انجام پذیر شد.

اوّل اقدام شد که با مخلوط دوتریوم-دوتریوم دما به ۱۵۰ میلیون درجه رسانده شود.
تعدادی آزمایش با مخلوط دوتریوم-تریتیوم انجام گرفت، ولی فقط تعدادی خیلی کم.
در واقع، تریتیوم که رادیوتوکسیک است (تشعشع سمّی Radiotoxic) این خاصیت را داراست که در همه جا نفوذ میکند و چنین خاصیتی مانع بازرسی کارشناسان از اتاق میشد، چراکه اتاق رادیواکتیو شده بود.

دستاورد تجربی :

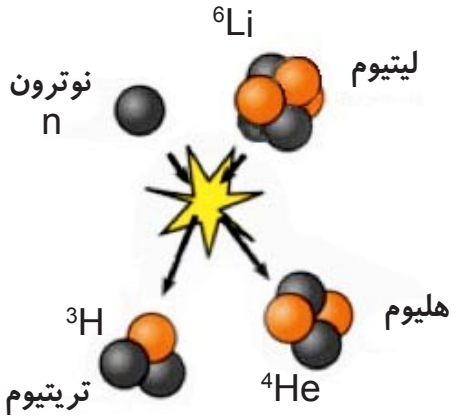
آزمایشهای انجام شده برروی جِت، بدلیل مدّت زمان بسیار اندک (یک ثانیه)، اجازهٔ گردآوری داده های مرتبط با استحکام مصالح سازندهٔ اولین جداره یعنی جداره ایکه در مقابل پلاسما قرار دارد را نمیدادند.
در سامانهٔ فرانسوی ابر-چنبره (Tore-Supra) یک پوشش کربنی، مشابه پوششی که روی فضاپیمای شاتل بکار گرفته شده آزمایش شد.
کربن، در ابتدا گزینهٔ خوبی بنظر میآمد. در دمای ۲۵۰۰ درجهٔ سانتیگراد تصعید میشود و خاصیت هادی حرارتی خوبی از خود نشان میدهد.
آنگاه اقدام به امتحان سیستمهای آب فشرده شد که در آنسوی اجزاءِ پوشش قرارداده شدند و کالری ها را جمع آوری میکردند.

در اینجا پدیده ای پیشبینی نشده آشکار شد که اِسپاتِرینگ (Sputerring) نام گرفت.
اصابت یون های هیدروژن با جداره ها و نوعی پَرتو-ساییدگی (فُتو-ساییدگی Photo-abrasion) باعث شد که بسیاری از اتمهای کربن، اتاق آزمایش را تسخیر کردند.

از طریق ترکیب با هیدروژن، کربورهایی (Carbure) را تشکیل میدادند که سپس بر روی پوشش رسوب کرده و خاصیت هادی کالُریفیکی آنرا مختل میکردند.
ولی از همه بدتر، برفرض اینکه دستگاه با تریتیوم کار میکرد، چنین پدیده ای سریعاً پلاکهای کربن را به پسماندهای رادیواکتیو تبدیل مینمود.
در نتیجه از انتخاب کربن صرف نظر شد.

سلولهای تریتیژِن (تریتیوم زا)

ازآنجایی که در طبیعت اثرات بسیار ناچیزی از تریتیوم موجود است، در نظر گرفته شده بود که از اندوخته ای که در اختیار کانادایی هاست و آنرا با نوعی مخصوص از راکتورهای هسته ای (رآکتورهای کندو CANDU) میسازند، استفاده شود. امّا، سوخت رسانی به ایتِر (و جانشینان آن) با این روش قابل قبول نیست.
پس بنابراین در نظر گرفته شد طوری عمل شود که دستگاه، سوخت خود را طیّ واکنش زیر از لیتیوم بازآفرینی کند.



+ انرژی

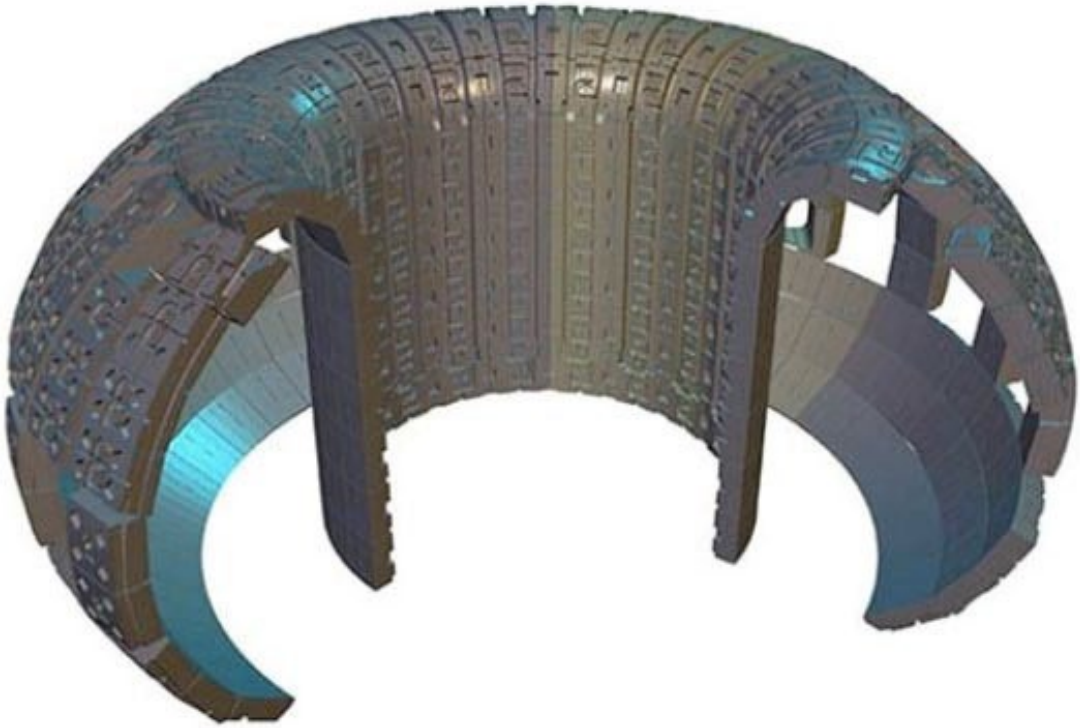
واکنشی که باعث احیاء تریتیوم میشود

بخاطر داشته باشیم که برای بازآفرینی یک اتم تریتیوم که بازیافت و مجدداً در اتاق تزریق شده است، میبایست یک نوترونِ بوجود آمده در نتیجهٔ واکنش فوزیون، که در تصویر بالا دیدیم، در اختیار داشت.
در کلّ، عملکرد راکتور برابر است با :

$$^{۶}\text{Li}\,(\text{لیتیوم}) + \text{n}\,(\text{نوترون}) \longrightarrow {}^{۳}\text{H}\,(\text{تریتیوم}) + {}^{۴}\text{He}\,(\text{هلیوم}) + \text{انرژی}$$

$$^{6}\text{Li} + \text{n} \longrightarrow {}^{3}\text{H} + {}^{4}\text{He} + \text{انرژی}$$

برای اینکه راکتور بتواند عمل کند، میبایست که اجزاء تریتیژِن (که تریتیوم بازآفرینی میکنند) و جداره را مفرّش میکنند، قابلیت جذب ٪۱۰۰ نوترون های منتشر شده را داشته باشند، چیزی که غیرممکن است. این سلولهای تریتیژِن، کلّ جداره را نمیپوشانند.



چیدمان اجزاء مولّد تریتیوم بر روی جدارهٔ ایتِر.

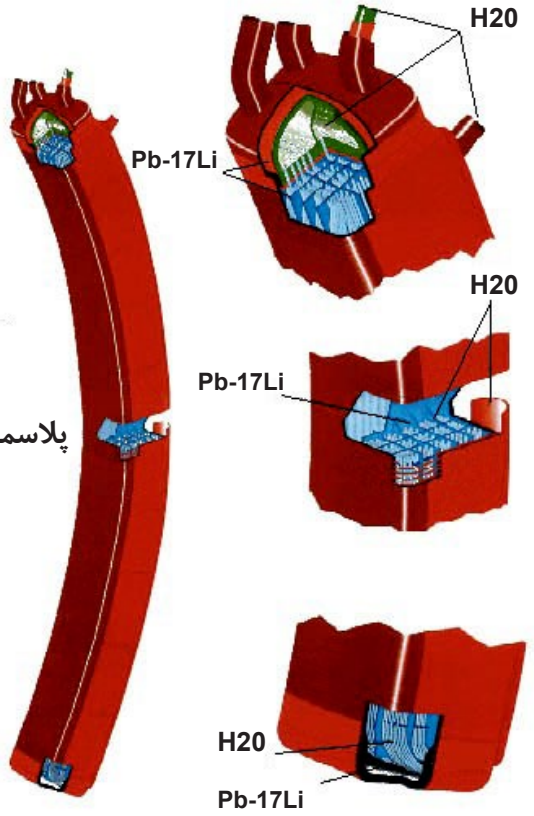
قسمت تحتانی، مربوط به مکان جای دادن دیوِرتور (انحراف دهنده Divertor) یا جای دادن سامانهٔ پمپاژ است، و پنجره های مختلف مربوط هستند به منفذهایی که از طریق آنها انرژی تزریق شده و یا اندازه گیریهای سنجشی انجام میشوند.

بنابراین، تعداد زیادی نوترون خود را در جداره وارد کرده، مصالح را توسط پرتوافشانی القائی (activation) رادیواکتیو کرده، و بدین ترتیب پسماندهای هسته ای تولید میکنند.

برای تضمین ادامهٔ بازآفرینی تریتیوم، میبایست مادّه ای را به میان آورد که نقش تکثیر کنندهٔ نوترون را ایفاء کند. سرب میتواند این وظیفه را انجام دهد. پس ماژول های تریتیژِن (یا مُدول Module) به شکل موز در نظر گرفته شدند، که در داخل آنها مخلوطی از لیتیوم وسربِ در حالت مایع (۳۰۰ درجهٔ سانتیگراد) در مجراهایی در مجاورت یک پیست دوّم جاذب کالُری ها، که در آن آب با فشار ۷۵ بار (bar) جاریست، جریان پیدا میکند.

نماد مفهومی (کانسپت) WCLL
(Wayer Cooled Litium Lead)

ابداع شده تحت مسئولیت CEA
با استفاده از یک فلز مایع (LiPb) بعنوان مصالح تریتیژِین
و از آب بعنوان عنصر برودت زا



مُدول تریتیژِن بررسی شده توسّط آژانس انرژی اتمی فرانسه CEA
(Commissariat à l'Energie Atomique)

همانطور که در بعد خواهیم دید، استفاده از این فرمول، فوقالعاده خطرناک است،
زیرا در صورت سانحه ای مهم، لیتیوم در تماس با آب منفجر میشود (مثل سدیم).

فرمول دوّم، حاکی از پیوند لیتیوم در یک سرامیک است. در اینصورت باید مدول ها را با جسمی که حکم دوبرابر کنندهٔ نوترونها را ایفاء میکند، پوشاند. برای ان منظور در اینجا از بِریلیوم (Beryllium) اسفاده میشود، که حکم جدارهٔ اولّیه را ایفاء کرده و در دمای ۱۲۸۰ درجهٔ سانتیگراد ذوب میشود.
پس واکنش ضریب تکثیر نوترونها به شرح زیر است :

$$^{9}_{4}Be + n \rightarrow 2(^{4}_{2}He) + 2n + \text{انرژی}$$

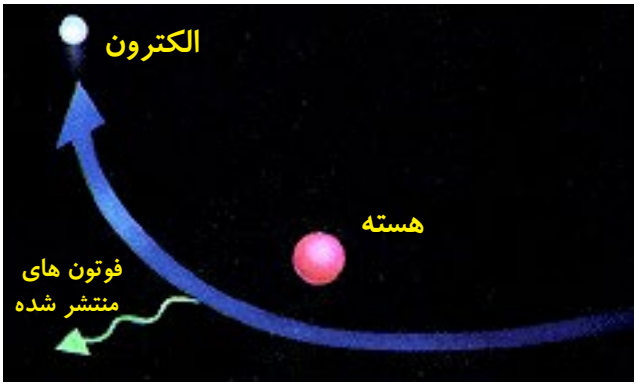
از اصابت یک نوترن با اتم بِریلیوم، دو نوترن، دو هستهٔ هلیوم و انرژی حاصل میشود.
هلیوم با هیچ جسمی پیوند نمیخورد.
اتمهای هلیوم هرکجا که از جهش تبدیلی (Transmutation) بوجود آمده اند چنین رفتاری دارند،
همچو چِرک و ناخالصی ساختارها را آسیب پذیر میکنند.
برای ایتِر، یک جدارهٔ اولیّهٔ یک سانتیمتری از بِریلیوم انتخاب شده است.

مشکل آلودگی پلاسما

پلاسما پی در پی تحت تأثیر گسستن اتمها آلوده میشود.
پلاسما توسّط تابش تُرمُزی (به زبان آلمانی bremstrahlung) انرژی از دست میدهد.

وقتیکه یک الکترون از مجاورت یک یون با بار مثبت میگذرد، مسیرش منحرف شده و یک فتون منتشر میکند، یعنی به میزانِ یک کوانتوم تابش.
این اتلاف متناسب است با بار الکتریکی Z از یون حامل آن، به توان ۲.
در مورد یونهای هیدروژن $Z=1$ است.

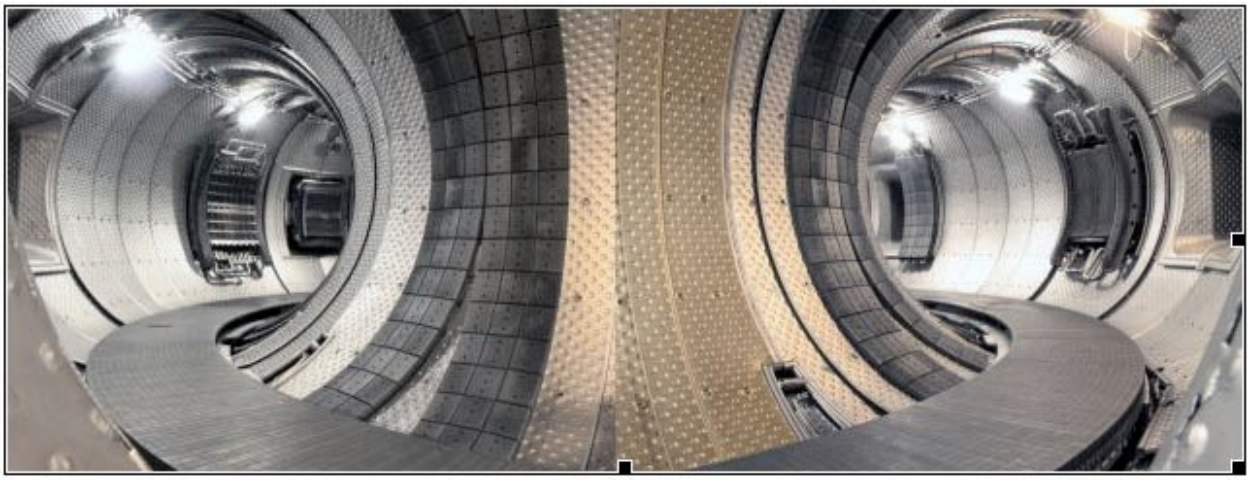
کربن جالب توجّه بود، زیرا یونیزه شدهٔ آن، فقط ۴ بار الکتریکی حمل میکند.
پس با در نظر گرفتن این مطلب، تمامی اجزایی که با پلاسما در تماس هستند، احتمال اینرا دارند که عامل آلودگی توسّط یونهایی که بار فراوان دارند قرارگرفته و درنتیجه اتـلاف های پرتوُی بوجود آورده و امکان آن میرودکه راکتور را از کار بیاندازند.



اتـلاف توسّط تابش تُرمُزی (بازدارنده)

برای تضمین کارکرد یک توکامک که قصد داریم درآن واکنش فوزیون بطرز مداوم انجام یابد، باید توانست «خاکستر» یعنی هلیوم را از میان برد، و این چیزیست که یک مسئلهٔ حل نشده را تشکیل میدهد.

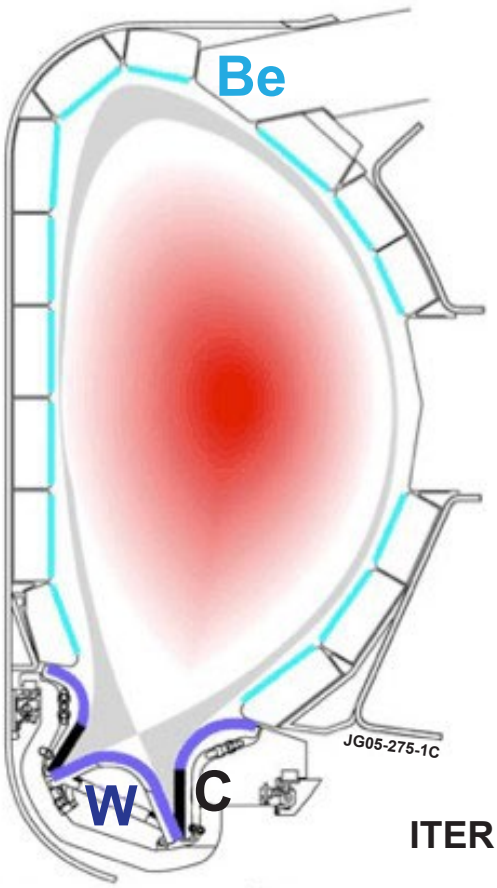
در داخل ابَر-چنبره (Tore-Supra)، وسیله ای بکار گرفته شد بنام «محدودگر Limiteur» که در زیر آن عملیلت پمپاژ انجام میگرفت. این وسیلهٔ برآمده در داخل اتاق، بیش از همه در معرض اصابت ذرّات میبود.



محدودگر ابر-چنبره مفرّش شده با پلاکهای کربن

در جِت (JET) و در پروژهٔ ایتر (ITER)، طرّاحان سیستمی را انتخاب کردند بنام «دیوِرتور» (انحراف دهنده divertor). این سیستم، با یک تغییر مکانِ مغناطیس موضعی همراه است که یونهای سنگین را به دام میاندازد.

امّا حالا، این قسمت از اتاق با یک جریان دمای بسیار زیاد مواجه میشود. پس بنابراین در نظر گرفته شد که مثل جِت، با تنگستِن (tungsten) که نقطهٔ ذوب آن ۳۰۰۰ درجهٔ سانتیگراد است، فرش شود.
رشته های نور افشانِ داخل لامپ های چراغ نیز با تنگستِن ساخته میشوند.



دیورتور (انحراف دهنده) Divertor

نمای برشیِ اتاق ایتِر

بنفش : پوشش تنگستِنی سیاه : پلاکهای کربن

حضور تنگستِن بکاربرده در پوشش، مشکلساز است. در واقع، یونهای تنگستِن چسبیده به جداره میتوانند حامل ۶۰ بار الکتریکی باشند.

اینچنین، یک یون تنگستِن، باعث اتـلاف تابش ترمزی میشود که معادل اتلاف حاصل از ۳۶۰۰ یون هیدروژن است.
در نظر گرفته شده بود که در ژاپن یک واحد راهبردی بنام ایف میف IFMIF،
International Fusion Material Irradiation Facility تأسیس شود که این امکان را میداد که مصالح، تحت پرتوافشانی توسّط نوترونهایی که انرژی نزدیک به انرژی نوترونهای در حال فوزیون (۱۴MeV) دارند، قرار داده شوند.

درحال حاضر، حتّی یک نقشه هم از چنین تأسیساتی وجود ندارد که درآن بتوان یک لایهٔ لیتیوم مایع را، توسّط یونهای دوتریوم شتاب بخشیده شده در دو شتابدهندهٔ خطّی، بمباران کرد.

تصاویر هنری که در اختیار داریم، حاکی از تأسیسات ۲۴۰ متریست، و برآورد شده است که هزینهٔ آن ثلث هزینهٔ ایتِر باشد و ساخت آن ۵ سال بطول بیانجامد.

قاعدتاً بطور منطقی، قبل از ترسیم نقشه های تأسیسات ایتِر، همانطورکه ۲۰ سال پیش اینکار انجام شده بود، میبایست که به جستجوی مصالحی که قابلیت استقامت در مقابل پرتوافشانی نوترونهایی که هفت برابر انرژی بیشتری نسبت به نوترونهای حاصل از فیسیون (۲MeV) را دارند، اشاره ای شده باشد.
ولی چنین کاری انجام نشده. امّا موتوژیما (Motojima) مدیر فعلی پروژه اعلام کرد :

- به این دلیل که این مصالح جادویی را در اختیار نداریم که، نمیتوانیم این پروژه را آغاز نـکنیم.

اضافه کنیم که هیچگونه اطلاعاتی دربارهٔ مقاومت بِریلیوم در مقابل پرتو-ساییدگی (فُتو-ساییدگی Photo-abrasion) ودر مقابل ساییدگی بر اثر اصابت، در اختیار نداریم.

جواب طراحان ایتِر :

- خود راکتور بعنوان آزمون مصالح بکار گرفته خواهد شد (...)

وضعیت دانسته های نظری در بارهٔ توکامک ها

در تاریخ ۱۳۸۹ هـ ش (4 novembre 2010) در انستیتوی پژوهش برروی فوزیون محصور شده توسّط مغناطیس (IRFM) وابسته به آژانس انرژی اتمی فرانسه (CEA) یک پژوهشگر بنام سِدریک رو (Cédric Reux) از پایان نامهٔ دکترای (phd) خود دفاع کرد.

مواردی که در این دکترا ارائه شده اند، از حمایت مؤسسات فرانسوی مثل ایتر ارگانیزِیشن که در اداره کردن پروژهٔ ایتِر دخیل هستند، مستفیض هستند.
سازمان ایتِر ارگانیزِیشن ITER Organization واقع در شهر کَدَرَش Cadarache در جنوب فرانسه است.

نشانی دانلود پایان نامهٔ دکترای سِدریک رو :

http://pastel.archives-ouvertes.fr/pastel-00599210/en/

آندرییو تورنتون (Andrew Thornton) از دکترای خود (phd) در سال ۱۳۹۰ (janvier 2011) دفاع نمود.

نشانی دانلود پایان نامهٔ دکترای آندرییو تورنتون :

http://etheses.whiterose.ac.uk/1509/1/AT_thesis_FINAL.pdf

این دو پایان نامه، روی سایت اینترنتی «دانستن بدون مرز» مستقیماً قابل دسترسی هستند.
در این پایان نامه ها، میتوانیم نکاتی دربارهٔ فوزیونهایی که مهارشده نامیده شده اند پیدا کنیم.

از ابتدای این پژوهشات در سال ۱۹۵۰ م (۱۳۲۹ هـ ش) میدانیم که پلاسماهایی که سعی بر محصور کردنشان به کمک میدان مغناطیسی داریم، بسار ناپایدار مینمایند و
دچار «ناپایداری ام. اچ. دی (مگنتو هیدرودینامیک [هیدرودینامیک مغناطیسی] MHD)» هستند.
در واقع، فقط مکانیزمهای «پراکنده ساز» هستند که ازطریق آن، یک سیستم تلاش براین دارد که انرژیِ دربرداشته را به بیرون براند، و «انتقال» آنرا آسان کند.

جریانات گرمایشیِ آبِ داغ شده در یک قابلمه، شکل گیری جریان هوای گرم بالا رونده، ابرها، بادها، گردبادها، کورانها، گردشهای فرعیِ نوک بال هواپیما، تلاطماتِ چاه هوایی، همگی وابسته به همین منطقِ طبیعت هستند.

در پلاسماها به این دلیل که مناطق پرفاصلهٔ آنان، بواسطهٔ میدان الکترومغناطیسی بطور همزمان باهم جفت هستند، مشکلات، بطرز وحشتناکی پیچیده میشوند.

در مکانیک سیالات، زمانیکه در اطراف قسمتی از هواپیما تلاطمی بوجود میآید، به تمامی محیط گازی پیرامون آن، بطور اتوماتیک سرایت نمیکند.

ویژگی کلّی پدیده هایی که در توکامک ها رخ میدهند، لازم میدارد که کلِّ جرم پلاسما که نسبت به اندازهٔ دستگاه، از $۱۰^{۲۰}$ تا $۱۰^{۲۲}$ ذرّه را شامل میشود، به محاسبه گرفته شود. بعلاوه، برای هریک از ذرّه ها باید شش پارامتر محاسبه شود، سه تا برای موقعیت مکانی و سه تا برای سرعت.

بدین ترتیب، این ذرّات در یک «فضای شش بعدی» جای میگیرند. پس بنابراین، این سیستم باید از طریق معادلهٔ انتگرال-دیفرانسیلِ بُلتزمَن (Boltzmann) جفت شده توسّط میدان مغناطیسی توضیح داده شود.
یک کابوس حقیقی از لحاظ ریاضی که شخصاً بخوبی میشناسم و در پایان نامهٔ دکترای خود در سال ۱۹۷۲ (۱۳۵۱ هـش) سهمی از خود به آن ادا کردم.

در نتیجه، باید به «شبیه سازی رایانه ای» اندیشید. ولی بلافاصله متوجه میشویم که تصوّر اندرکُنش دادن اینهمه ذرّه باهم، غیر قابل تحقق است.

این شد که نظریه پردازان (تئوریسیَن ها)، سعی کردند محیط را نمونه سازی کنند.
ولی همهٔ این اقدامات با شکست کامل مواجه شدند.

وقتیکه آزمایشگرها شاهد پدیده ای که از راههایی دشوار کسب میشود هستند،
نظریه پردازان قادر به توصیف آن نیستند.

هیچ الگوی نظری از طرز کار یک توکامک وجود ندارد که بتوان از روی آن انجام به بزرگسازی کرد.

خلاصه اینکه، اجرای آزمایشات در توکامک ها، فقط مبنی بر آزمون و خطاست.

برای متقاعد شدن از این مسئله، فرانسه زبانها میتوانند به نشانی زیر مراجعه کنند :
http://www-fusion-magnetique.cea.fr/fusion/physique/une_journee_ordinaire.htm

پروژۀ ایتِر چگونه پدید آمد ؟

برای خیلی از افراد، این سؤال بصورت یک راز باقی مانده است.
هنوزهم ایتِر از یک مدیریّت علمی واقعی برخوردار نیست. یک «بدنِ بی کلّه» است.
بخش ارتباطات بسیار کوشاست و در انظار عمومی چنین تبلیغاتی را میفروشد :

- خورشید در لوله آزمایش
- انرژیِ بی پایان
- «دستگاه نهایی»
- و غیره و غیره ...

البته چنین مقایسه ای با خورشید، چندان هم بی معنا نیست.

- درجه حرارت دست یافته شده در توکامک ها (۱۵۰ میلیون درجۀ سانتیگراد در جِت)، یک فاکتور ۱۰ از دمایی که در دیگِ کوچکِ مرکزیِ ستارۀ خورشید حاکم است بیشتر است.

- قدرت های تابشی آنها، به وات در متر مربع، چه در سطح خورشید، و چه جمع آوری شده بر سطح داخلی محفظۀ ایتر، از لحاظ توانایی یکسانند.

- هر دو عنصرِ «سوخت فوزیونی»، یعنی دوتریوم و لیتیوم (که برای بوجودآوردن تریتیومی که در واکنش گرما-هسته ای استفاده میشود)، در طبیعت بسیار زیاد یافت میشوند.

در بسیاری از سایتهای اینترنتی، تصاویر رایانه ای یک پلاسمای صورتی رنگ نشان میدهند که به شدّت توسّط میدان مغناطیسی دستگاه محصور شده است. این «دروغ محض» است.
گزارشی را که از آزمایش روی ابر-چنبره (Tore-Supra) انجام شده از طریق لینک صفحهٔ قبل بخوانید و در صفحهٔ سایت مذبور، روی لینکی کلیک کنید که دوباره سازیِ نوسانات پلاسما در جِت را، درست قبل از اینکه یک دیسروپسیون (disruption) بوقوع بپیوندد، نشان میدهد.

http://www-fusion-magnetique.cea.fr/fusion/physique/equilibremagnetique.htm#disruption

همه چیز از زمان ملاقات گرباچف و ریگان در سال ۱۹۸۵ (۱۳۶۴ هـ.ش) آغاز شد که درپی یافتن این مسئله بودند که چه موضوع پژوهشی میتواند گسترده شود که در آن، اتم ارمغان آور صلح باشد.

این رجال که خود را در نقش فیزیکدانان برجسته میدیدند، تصمیم گرفتند که جستجوی انرژی بوسیلهٔ فوزیون مهار شده، میتواند جوابِ سؤالشان باشد.

ریگان و گرباچف در ژنو در سال ۱۹۸۵ (۱۳۶۴ هـ.ش)
Reagan & Gorbatchev - Genève 1985

فیزیکدانان اتمی، برای جامه بخشیدن به این رویا دست بکار شدند، علیرغم اینکه توکامک ها از بدو تأسیس در سال ۱۹۵۰ همیشه ماشینهایی بوالهَوس دمدمی مزاج و مشکلسازی بوده اند.
پیشرفتهایی که حاصل شد، از سویی بدست آوردن انرژی فوزیونی بمدّت یک ثانیه، و از سوی دیگر به نمایش گذاردن این مطلب توسّط فرانسویها که ساخت یک میدان مغناطیسی با قدرت چندین تِسلا در محدوده ای ۲۵ متر مربعی، امکانپذیر میباشد، فهرست بی پایانِ مشکلات فنی-دانشیِ حل نشده را پنهان میکند.
چه کسی چنین ایده ای که با ساخت یک دستگاه بزرگتر، همه چیز میتواند بطور معجزه آسا بهبود بیابد را مطرح کرد ؟

این ایده یک رویای جدید است : **تولید انرژی بیش از تزریق آن**.
زیرا گرم کردن پلاسما، نرخ انرژتیک بالایی دارد.
در جِت، انگلیسیها موفّق به تولید انرژی حرارتی خالص به میزان ٪ ۶۵ انرژی تزریقی شدند.

نسبت توان حرارتی تولیدشده بر توان تزریق شده را با حرف Q نشان میدهیم.

$$Q = \frac{\text{توان حرارتی تولیدشده}}{\text{توان تزریق شده}}$$

پس برای جت : $Q = 0,65$

بطور خیلی شِماتیک میتوانیم بگوییم که یک چنین دستگاهی، متناسب با حجمش انرژی تولید میکند.
درحالیکه اتـلاف هایش که ازطریق سطح منتقل میشوند، متناسب با سطحش افزایش پیدا میکنند.

از نسبت حجم بر سطح، فاکتور مقیاس حاصل میشود.
بدین ترتیب، با دوبرابر کردن اندازهٔ دستگاه، میتوان امیدوار بود که میزان Q دو برابر شود.
طراحان ایتِر، میزانی مابین ۵ تا ۱۰ را اعلام کرده اند.

در این حین، یک نکته :

در یک توکامک، توزیع میدان حرارتی در اتاق، توسّط وسایل گرمایشیِ اضافه شده که به آن مجهز شده اند تضمین میپذیرد.
وقتیکه کارکردی با فاکتور Q با میزان زیاد در جلوی واحد حاصل شود، تولید انرژی از طریق فوزیون است که ادامهٔ مسیر را دنبال خواهد کرد. دراینصورت، پلاسما «به حال خود رها گشته» و از لحاظ حرارتی، غیر قابل کنترل میشود.

آنگلو-ساکسون ها (مردمان انگلیسی تبار anglo-saxons)، چنین محیطی را «بِرنینگ-پلاسما burning plasma» مینامند.
هیچکس نمیداند پلاسمای دستگاهی که در آن چنین شرایطی محقق شود، چگونه رفتاری خواهد داشت.

پدیدهٔ احتراق را درسیلندرِ یک موتور دیزلی در نظر بگیریم.
پیستون، مخلوط هیدروکاربور و هوا را متراکم میسازد.
این تراکم، دما را بالا میبرد. وقتیکه شرایط احتراق مهیا شد، احتراق صورت میپذیرد. ولی از دیرباز میدانیم که این احتراق، همه چیز هست بجز همگن. یک «احتراق متلاطم» است.

سنجشها مطابق شبیه سازی رایانه ای نشان میدهند که واکنشهای احتراق بطور آنی در قسمتهای گرم انجام میگیرند و نه بطرز همگن.

تمامی احتراقات در مرحلهٔ گازی بشدّت متلاطم هستند.
در یک توکامک که پلاسما بطور ناگهانی « به حال خود رها» میشود، چه بر سر یک «فوزیون متلاطم» میآید ؟

اگر در ناحیه ای دما زیاد شود، کثرت دما بلافاصله ریتم فوزیون را بالا میبرد.

پس بدلیل وجود میدان مغناطیسی که مسئله را پیچیده کرده و مسائل را برای نظریه پردازان غیر قابل مدیریت میکند، هیچ نمیتوان گفت که چه پیش خواهد آمد.

اگر چنین مشکلی را نادیده بگیریم، فرض کنیم که ایتِر ساخته شده باشد و در آن آزمایشاتی قابل مقایسه با آزمایشاتی که در دستگاه جِت انجام شده اند صورت بپذیرد.

- فوزیون دوتریوم-تریتیوم بدست خواهد آمد.
- دستگاه بیش از انرژی که مصرف میکند، انرژی تولید خواهد کرد.

حالا که چه ؟

چنین نظری که برای مشکل استحکام مصالح راه حلّی پیدا شده باشد بمنزلهٔ اعتقاد بر قضا و بلا است.
ولی یک مشکل بمراتب حاد تر وجود دارد، که سِدریک رو بهمراه آندرییو تورنتون
(Cédric Reux & Andrew Thornton) در پایان نامهٔ خود توضیح میدهند.
مشکلی که هیچ تازگی ندارد چراکه توکامک ها از همان ابتدای آزمایشات در سال ۱۹۵۰ (۱۳۲۹ هـ.ش)،
بطرز وحشتناکی ناپایدار جلوه نمودند.

مشکل حاد دیسروپسیون ها (Disruption) :

هرگز این واژه را در اسنادی که پروژه را تشریح میکنند که فقط تبلیغات خالص هستند، نمیابید،
در حالیکه تمامی متخصصین توکامک ها، به این مشکلات، آشنایی دارند.
تمام توکامک ها، آشنا به پدیده ای هستند بنام دیسروپسیون (disruption).

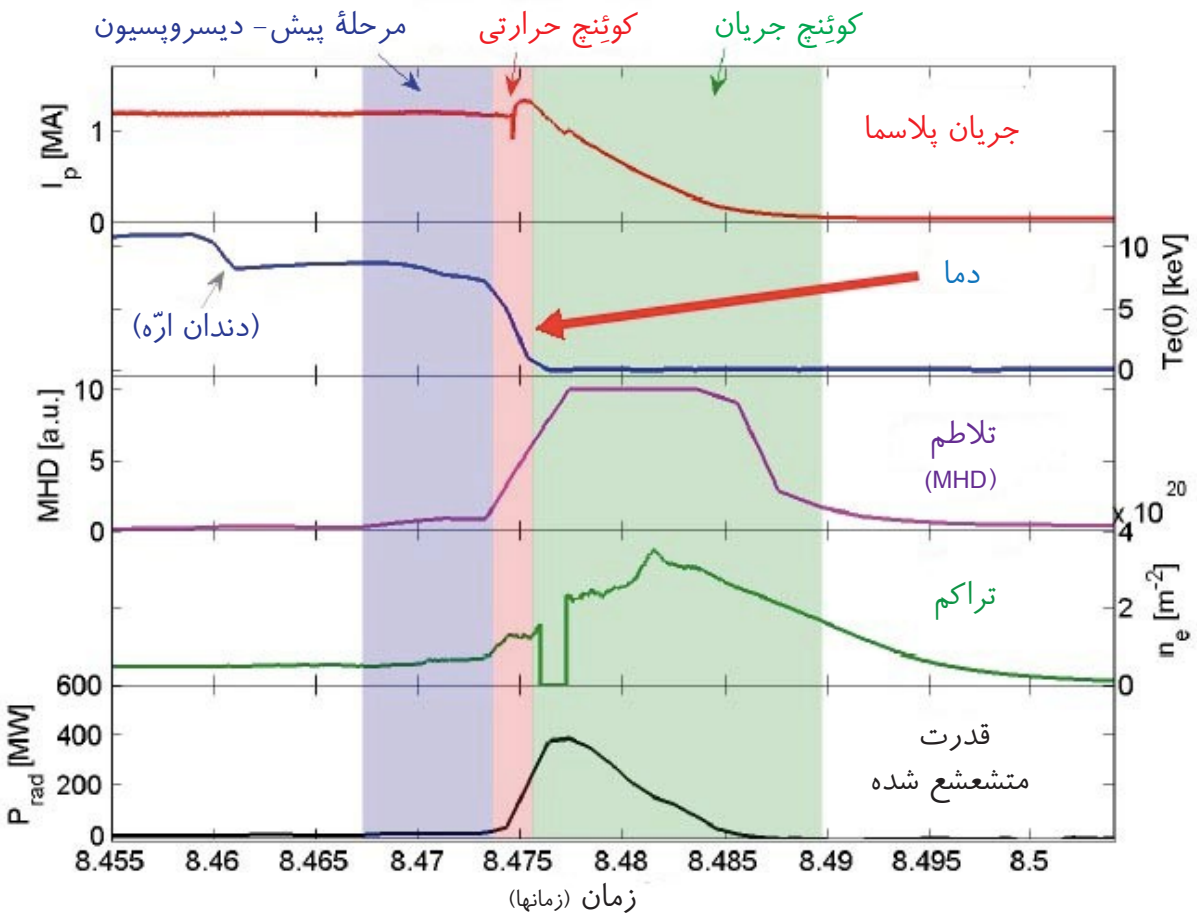
دیسروپسیون چیست ؟

وقتیکه یک توکامک را به حدّ عملیاتی اش برسانیم، یک جریان پلاسما بروی خودش حلقه میزند،
به میزان یک میلیون آمپر در ابر- چنبره (Tore-Supra) و در جِت (JET)،
خطوط جریان، بشکل دوایری که محور تقارن آنان خود دستگاه است تشکیل میشوند.

زمانیکه یک دیسروپسیون آشکار میشود، دمای پلاسما بطرز فوق العاده ناگهانی با فاکتور ۱۰/۰۰۰ (ده هزار)
در عرض چند هزارم ثانیه، از ۱۰۰ میلیون درجه به فقط چند هزار درجه اُفت میکند.

انرژی از طریق انتقال حرارتی متلاطم و توسّط تشعشع، طبق مکانیزمی که هیچیک از نظریه پردازان
قادر به توضیح آن نیستند، به سمت جداره پراکنده میشود.

در زیر، منحنیِ برگرفته از پایان نامهٔ سِدریک رو (Cédric Reux)، که نمایانگر شدّت این پدیده است :

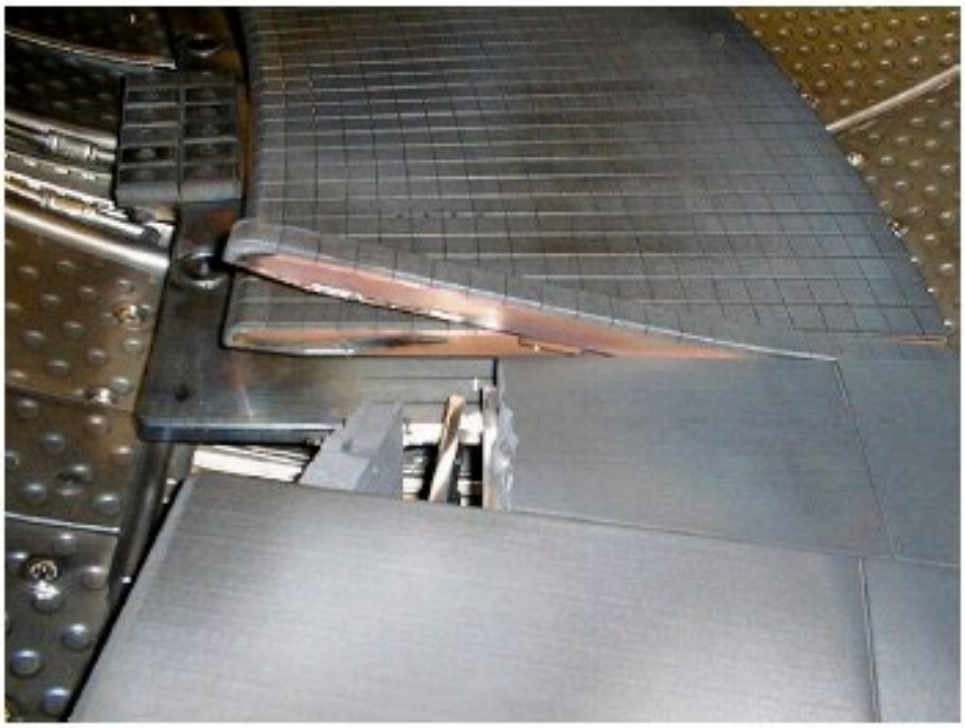


روند بوقوع پیوستن یک دیسروپسیون

همانطورکه سِدریک رو در پایان نامهٔ خود یادآوری میکند، امروزه هیچکس قادر به توضیح، پیشبینی دقیق و کنترل این پدیده نیست (...). هیچکس فرآیند این «فرونشانی» (کوئِنچ quench) حرارتی را نمیفهمد.

این پدیده، یک تغییر بسیار شدید را در رژیم عملیاتی القاء میکند. در حالیکه چند هزارم ثانیه قبل از آن، شکل هندسی دستگاه از توازن کامل برخوردار میبود و خطوط میدان مغناطیسی، مارپیچ هایِ موزونی را شکل میدادند و پلاسما در حجمی بشکل چنبرهٔ خیلی صیقلی که توسّط میدان مغناطیسی پرقدرت از جداره ها فاصله گرفته بود محصور شده بود، تمام این نظم آناً منهدم میشود.

در نتیجهٔ اینکه این میدان، دیگر قادر به محصور و مهار کردن پلاسما نیست،
ساختار پلاسما کاملاً آشوبناک میشود.
وقتیکه جریان پلاسما، اُفت میکند، با ادغام با میدان مغناطیسیِ موجود، تبدیل به منشأ
جریانات القائیِ پرقدرتی میشود که در سراسر ساختار دستگاه ها، نیروهایی صدها تُنی بوجود میآورد
که این نیروها در دستگاههای فعلی، بسهولت قادر به خم کردن و تاب دادن ساختارهای دیواره ای،
به سان پَر کاه هستند .

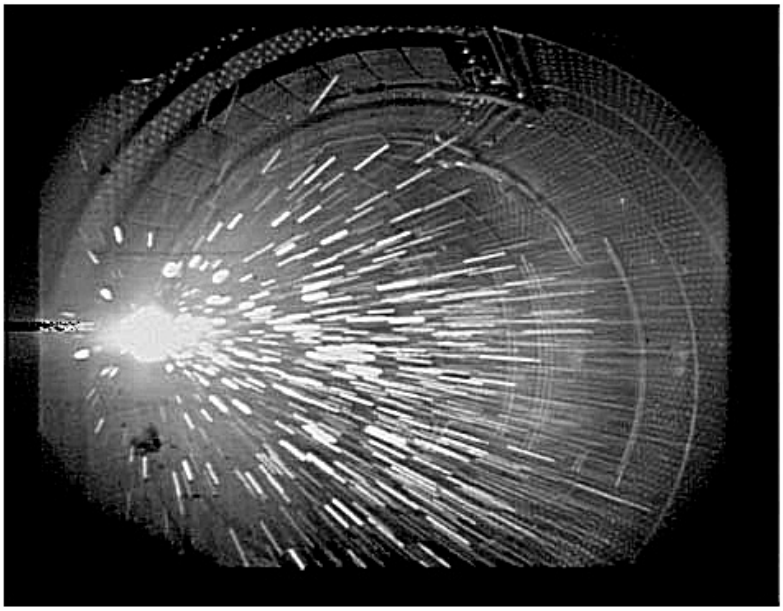


تصویر ۲-۱۸ ، نمونه ای از آسیب وارد شده توسّط جریانات القائی :
سوزن خم شدهٔ یک محدودگر در ابر- چنبره، صفحهٔ CFC شکسته شده

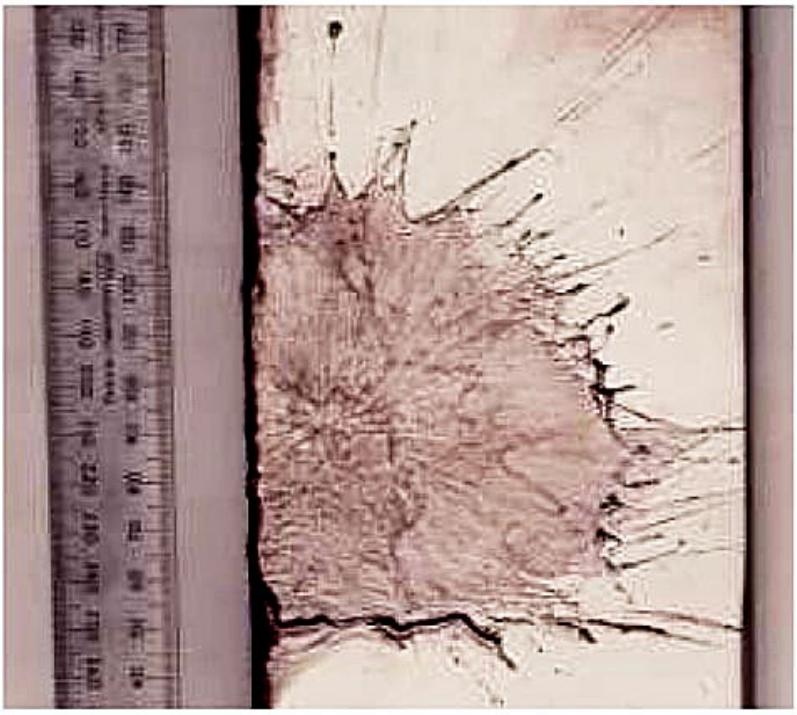
**نیروهای لاپلاس (Laplace) این قطعه از محدودگرِ ابر- چنبره را خم کرده اند
و پوشش کربنی آنرا از جای کنده اند.**

همانطورکه این عکسهای برگرفته از پایان نامهٔ رو (Reux)، در رابطه با دستگاههای ابر- چنبره و دستگاه انگلیسی جِت نشان میدهند، یک جهش الکترونی نِسبی ساز با انرژی بالا (بین ۱۰ تا ۳۰ MeV) صورت میگیرد،که شدّت آن به میزان شدّت جریان پلاسما میباشد، معادل آذرخشی که در فضای توخالی داخل محوطه، میرود تا به هر قسمتی از سطح داخلی آن برخوردکند و مصالح را در قسمت تلاقی شده تبخیر میکند.

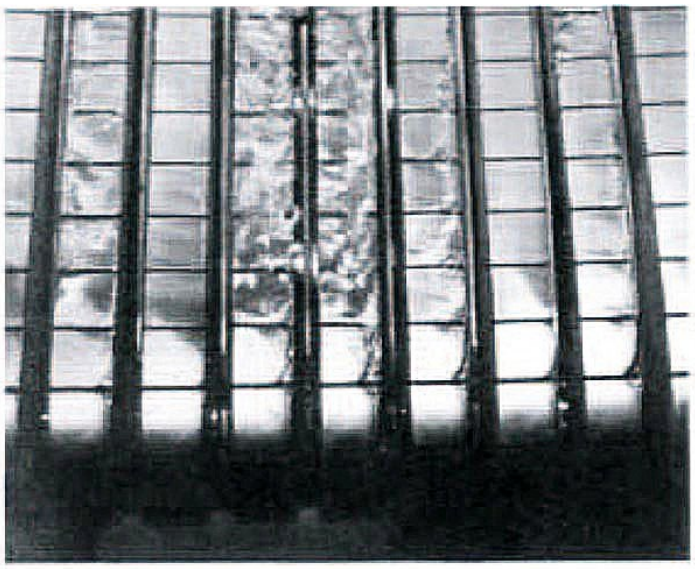
.



تصویر ۲-۲۲، الکترون های تفکیک شده :
اصابت بروی محدودگرِ کربنی ابر- چنبره



تصویر ۲-۲۳، محدودگر داخلی جِت توسّط یکدسته از الکترون های تفکیک شده ذَوب شده است



آسیب وارده توسّط یک دیسروپسیون
به پوششی از بِریلیوم در دستگاه جِت

همانطورکه سِدریک رو (Cédric Reux) به آن اشاره میکند، و ما وی را کاملاً مورد تأئید قرار میدهیم،
چیزی که تا الآن در توکامک و در ابر- چنبره مدیریت پذیر بود، در دستگاهی مثل ایتِر
(و در دستگاههای بعدی) که هزار برابر بیشتر انرژی در خود دربر میگیرند مشکلساز میشود.
خود طراحان دستگاه پیشبینی کرده اند که **«آذرخش هایی» که به ناگزیر در آنها تولید خواهند شد،**
به ۱۵ میلیون آمپر (و ۱۵۰ میلیون آمپر در جانشین آن دِمو DEMO**) خواهند رسید.**

اصابتهای با چنین نیرویی، محوطهٔ توخالی را سوراخ خواهند کرد.
لایهٔ بِریلیوم یک سانتیمتری، که جدارهٔ اوّلیهٔ «جلوی پلاسما» را تشکیل میدهد تبخیر خواهد شد و مصالح آلوده گر بسیار سمّی و سرطان زایی را که از آنها تشکیل یافته، بهمراه تریتیومِ رادیوتوکسیک (تشعشع سمّی Radiotoxic) که در اطاق موجود میباشد، پراکنده خواهد کرد.

چنانچه مُدول های تریتیژِن (مدولهای مولّد تریتیوم) که بلافاصله در پشت لایهٔ اولیهٔ بِریلیومی (bérilum) قرار دارند بر پایهٔ جریان مخلوطی از لیتیوم- سُرب در حالت مایع و سرد شده توسّط آب (راه حل گزیده شده در آژانس انرژی اتمی فرانسه CEA)، طراحی شده باشند، بخار سمّی سرب منتشر خواهد شد.

این مواد میتوانند به آلوده گر های پراکنده شدهٔ نامبرده اضافه شوند و چون لیتیوم قابل اشتعال و در تماس با آب انفجار پذیر است و احتراق لیتیوم غیر قابل خاموش کردن میباشد،
میتواند به سهولت و آسانی ویرانی دستگاه را در پی داشته باشد.

نیروهای لاپلاس (Laplace) که با ارقام هزاران تُنی رقم زده میشوند، میتوانند ساختارهای دستگاه را متلاشی کرده و ناگزیر به تعویض یا «بازسازی کامل» آنها کنند.

مهمترین عقوبتی که در پی خواهد داشت، جنبهٔ تجاری آن در استفادهٔ آتی از این نوع دستگاههاست.

هیچکس نمیتواند تولید برق بنا شده بر اساس ژنراتورهایی که در هر صورت بطرز ناگهانی و بطور درازمدّت طی ماه ها و حتّی سالها، از عمل باز می ایستند را، درنظر بگیرد.

هدایت پر مشکل یک توکامک

این چشم انداز را در گزارش آزمایش ابر- چنبره بطور خیلی واضح میتوان دید، و از طریق لینک صفحهٔ ۱۹ که بسمت یکی از صفحات سایت اینترنتی رسمی آژانس انرژی اتمی فرانسه (CEA) هدایت میکند، قابل دسترسی است.

چون هیچکس نمیفهمد یک توکامک چگونه کار میکند، و هیچکس نمیتواند حیطهٔ کاربردی آنرا با اعتبار و امنیت منظور کند، راه حلّی که امتحان شد این بود که در حافظهٔ یک رایانهٔ هدایت کننده، سیر تکاملی میزانِ پارامترهایی را که به یک دیسروپسون منتهی میشدند را ضبط کنند.

این داده ها، پایگاه داده ایی (database) را تشکیل دادند که اجازهٔ هدایت و کنترل دستگاه را میدهد.

زمانیکه در حال آزمایش چنین سناریویی پیش میآید، رایانه بطور خودکار، روند آزمایش را متوقف مینماید.

توقف یک آزمایش، بسادگی قطع کردن منابع تغذیهٔ آن نیست.

در واقع، اُفت فوق العاده ناگهانی جریان پلاسما، مولّد تأثیرات القائیِ معادل یک دیسروپسون است.

رفتار یک توکامک توسّط یکسری ابزارهای سنجشی که اکثراً زمان پاسخگویی بسیار طولانی دارند، کنترل میشود.
همانطورکه آقای رو (Reux) بدان اشاره مینماید، زمانیکه تصمیم به مداخله میگیریم
(و یا اینکه رایانه تصمیم متوقف کردن را میگیرد) دیگر دیر شده است.

راه حلّ توصیه شدهٔ فعلی، تشکیل شده است از غرق نمودن اتاق بوسیلهٔ تزریق گاز سردِ تحت فشار بکمک لوله.
(راه حلّ بکار گرفته شده از سال ۱۹۹۰ (۱۳۶۹ هـ.ش) بازگرفته شده در پایان نامهٔ سِدریک رو و آندرییو تورنتون)
(Cédric Reux & Andrew Thornton).
امّا کاربرد چنین «اطفاء حریق» میتواند خیلی هم سریع واقع نـشود.

راه حلّ دیگر مبتنی است بر کشیدن یخ ها بوسیلهٔ لوله دَم (که این راه حلّ، همچنین بطور معمول برای دوباره تغذیه سازی دستگاه با سوخت تازه نیز در نظر گرفته شده).
امّا این «راه حلّ دیگر»، بستر را برای بوجودآمدن الکترون های پر انرژی که مخرب هستند فراهم میکند.

به وجه تمثال، میتوانیم بگوییم که پلاسمای یک توکامک، با یک اژدهای شبیه به مار که نوک دُم خود را به آرواره گرفته است و با سرعت زیاد در حال حرکت است، وجه تشابه دارد.
اگر دُم خود را ول کند، دیوانه وار به همه طرف جست و خیز میکند و اولّین قطعهٔ جداره را که سر راهش قرار گرفته باشد گاز میگیرد.
مثل همهٔ اژدها ها، یک بازدَم سوزان از دهان بر میافکند. شکل پوزهٔ بازش، یادآور «گرادیانِ» (gradient) میدان مغناطیسی است که الکترونهای دِشارژ دیسروپسیونی را با ٪۹۹ سرعت نور، شتاب میبخشد.
این الکترونهای مجهز به چنین انرژیی، میتوانند نه تنها سطح داخلی زندان او را، بلکه به هرآنچه که در ماورای آن است آسیب وارد سازند.

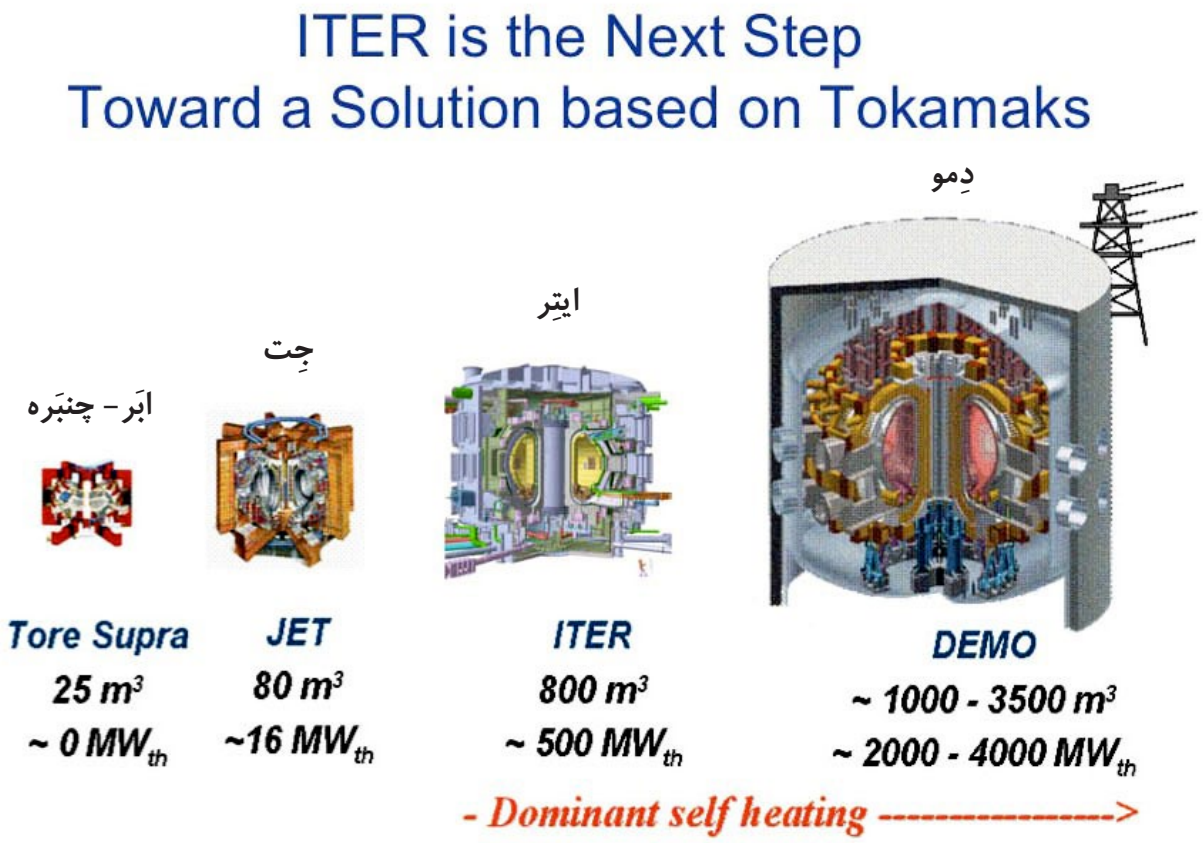
در مورد هدایت یک توکامک، کوره پز یک لوکوموتیو قطار را تصوّر کنید که درجلوی کورهٔ لوکوموتیوش قرارگرفته است. استخراج خاکسترها و آلودگیها، پر از گرفتاریست. برای تغذیهٔ این کوره، یک لوله دَم در اختیار دارد که با آن میتواند یخ ها را با اندازه هایی به کوچکی میلیمتر، در آورد.
او صفحات مندرج مختلفی را که درجات اندازه گیری شده در دیگ بخارش را نشان میدهند، تحت مراقبت دارد.
اگر درجه به قرمز برسد، تا آنجایی که میتواند تلاش میکند تا کوره را هرچه زودتر بوسیلهٔ یک کپسول اطفاء حریق، غرق کند.

یکچنین دستگاههایی هستند که امید میرود روزی بتوانند به ژنراتورهای برقی که از انرژی فوزیونی استفاده میکنند، منتهی شوند.

اضافه کنیم که مشکلات به تناسب اندازهٔ دستگاهها زیاد میشوند.

تصویر زیر، نمایانگر مقایسهٔ اندازه هاست
از ابر- چنبره (Tore-Supra) تا دِمو (DEMO)

ایتِر مرحلهٔ بعدی بسوی راه حلّی بر پایهٔ توکامک هاست



دِموی عظیم الجثه، توان تولید فقط ۷۰۰ مگاوات الکتریک را دارد

یک ریسک صنعتی غیرقابل مدیریت

ایتِر ابزاری در جهت پژوهش بنیادین نیست. پیشساختی از یک خانوادهٔ دستگاههایی بمراتب بزرگتر است که آخریشان پروتو (PROTO) میباشد که مدل ژنراتورهای آتیی را بنمایش میگذارد، که «با در جعبه قراردادن خورشید، از این انرژی بی حد و پایان» بهره میبرند.

میبینیم که کنترل چنین دستگاههایی در اندازه های کوچک هم (ابر- چنبره و جِت و شبیه به آنها که در کشورهای مختلف نصب شده اند) بینهایت دشوار است.
در چنین مقیاسهایی، سوانح، خسارات کمی را به بار میآورند، خسارات مادّی که دستگاه را بمدّت چندین ماه از کار میاندازند.
در مقیاسهای بزرگتر، به محض دستیابی به مقیاس ایتِر، دیسروپسیون های مهّـمِ غیر قابل پیشبینی و غیر قابل کنترل، میتوانند ساخت مجدّد کلّ دستگاه را ایجاب کنند.
هر نوع بزرگسازی دالّ بر مقیاس (scaling) بدین دلیل که مکانیزمها را نمیشناسیم و نمیتوانیم آنها را تشریح کنیم، غیر ممکن میشود.

در زیر، چکیده ای از نتیجه گیریِ پایان نامهٔ آقای رو (Reux) :

نتیجه :

در جهت بکارگیریِ با اطمینان خاطر توکامک های آینده در شرایط مناسب ایمنی و اعتباری و با کارایی بالا، لازم است که دیسروپسیون های پلاسما هرچه بیشتر تحت کنترل درآورده شوند.

چنین پدیده های خشنی که معلولِ ازدست رفتگی حصار پلاسما هستند، بانی سه اثر مضّر هستند :

۱- اثرات الکترو- مغناطیسی شامل جریانات القائی، جریانات هاله و نیروهای لاپلاس (Laplace) که از آن منتج میشوند میتوانند به محوطهٔ توخالی توکامک زیان رسانده و به اجزاء ساختار آسیب وارد آورند.

۲- اثرات حرارتی بوجود آمده بر اثر از دست داده شدن انرژی داخل پلاسما، قادرند صدمات جبران ناپذیری بروی قطعات جداره که در تماس با پلاسما هستند وارد آورند.

۳- و در آخر، دسته پرتوهایی از الکترونهای نسبی ساز که در حین دیسروپسیون شتاب داده شده اند، میتوانند حصار محوطهٔ تُهی را سوراخ سازند.

حتّی اگر بدانیم که دیسروپسیون هایی که از زمان اولّین توکامک های سالهای ۱۹۵۰ تا این اواخر مطالعه شده اند، مزاحمت کم اهمیتی برای عملیات دستگاه ها ببار آورده بودند.

فقط با روی آمدن توکامکهای بزرگ جثّه بود که حضور پر خطر آنها بیش از پیش شروع به احساس شد.
چون محتوی نیرویی توکامک و راکتور های آتی چندین برابر از دستگاههای فعلی بیشتر خواهد بود،
لذا، نتایج دیسروپسیون ها نیز به همین نسبت خطرناک تر خواهند بود.
.
بدین سبب لزوم کنترل و اجتناب از آنها ضروری میشود. جلوگیری همیشه مقدور نخواهد بود.

هرچه دستگاهها قویتر باشند، کم ثبات تر خواهند بود
و چنین پدیده هایی، بمراتب مدیریت نشدنی تر و خشن تر و مخرّب تر خواهند بود.

آقای آندرییو تورنتون در صفحهٔ ۱۴ پایان نامهٔ دکترایش (phd) مینویسد :

- دیسروپسیون ها به توکامک های آینده (که ایتِر جزو آنهاست) خسارات جدّی وارد خواهند کرد، بطوریکه در توکامک های پر قوّت به فاجعه منجر خواهد شد.

چرا این مشکلات غیر قابل حل هستند ؟

توکامک ها دستگاههایی هستند که بطور **غیر طبیعی** عمل میکنند، و سعی برآن میشودکه درآنها از وسیله ایکه از یک سیال، یک پلاسما، استفاده میکند بهره جست، و راهی برای رهایی یافتن و پرهیز از هر نوع پدیدهٔ پراکنده ساز جستجو میشود.

ناپایداریهایی که در پلاسمای توکامک ها شکل میگیرند چیزی غیر از پدیده های **ام. اچ. دی** (مگنتو هیدرودینامیک [هیدرودینامیک مغناطیسی] **MHD**) نیستند.

تلاطم در هرکجای طبیعت وجود دارد.
آن است که جریانات آب و هوای ما را تحرّک میبخشد.
آن است که احتراق را در سیلندر خودرو های ما و پخت وپز مواد غذایی را در قابلمه هایمان تضمین میکند .

اگر بخواهیم یک توکامک را بدون تلاطم بکار بیاندازیم، معادل این است که سعی کنیم آب درون یک ظرف را از جهت سطح آزادش و با گرم کردنش از زیر، بخار کرده و تلاش کنیم از تصاعد آن از طریق ممانعت از هر جریان صعودی جلوگیری کنیم.

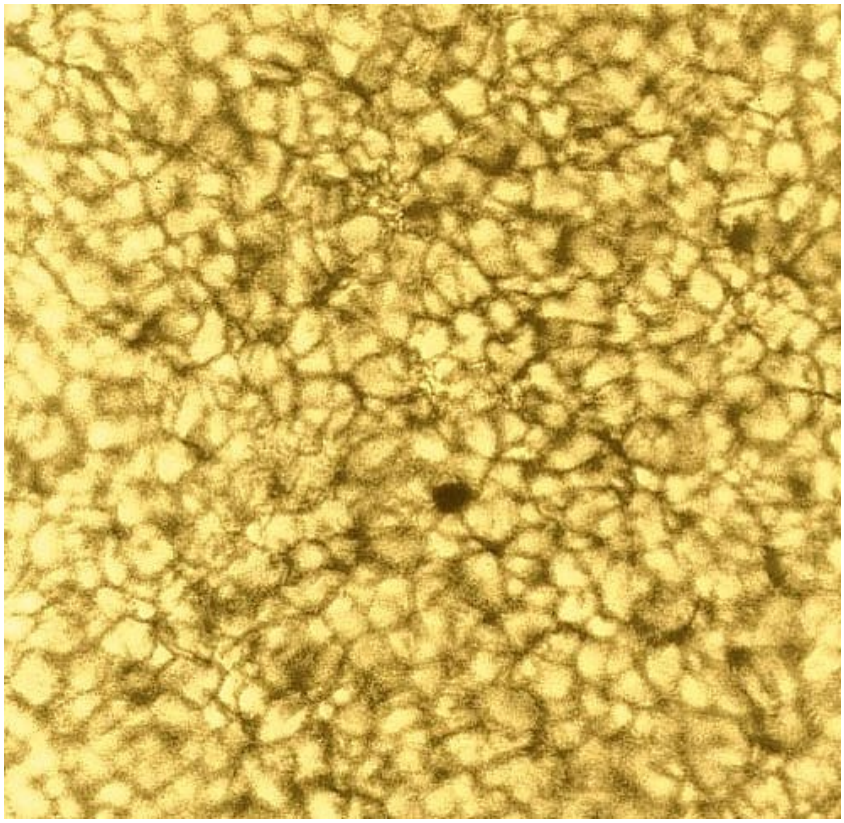
برای اینکار، میبایست سیستمهای سنجشی پیچیده ای تعبیه میشدند که بتوانند سرعت اجزاء سیال را بطرزی بسنجند که وقتی یک ضدّ واکنش (بصورت کاهش حرارت) دخول داده میشود، بَدوِ تولّدی از یک صعود پدیدار شود.

یک توکاماک با ثبات، یک اتمسفر بدون صعود است، بدون باد، بدون ابر.

مبلّغین ایتِر، بی وقفه دستگاهشان را به «خورشید در لوله آزمایش» تشبیه میکنند.

البته دیدیم که چنین ادعایی، آنچنان هم بی پایه و اساس نبود.

خورشید یک «قابلمه با تقارن کروی» است.
انرژی در مرکز آن، در یک دیگ کوچک که در آن پانزده میلیون درجهٔ ناچیز حکمرانی میکند، تولید میشود.
این انرژی، این گرما، بطرف سطح آن بالا میآید.
دراین میان پدیده هایی بُروز میکنندکه به صعود انرژی حرارتی کمک میکنند.
این تلاطم برسطح خورشید که دمای آن $۶۰۰۰^{\circ}C$ (شش هزار درجهٔ سانتیگراد) است قابل مشاهده است
و روی عکسها بمانند «دانه های برنج» نمایان میشود.



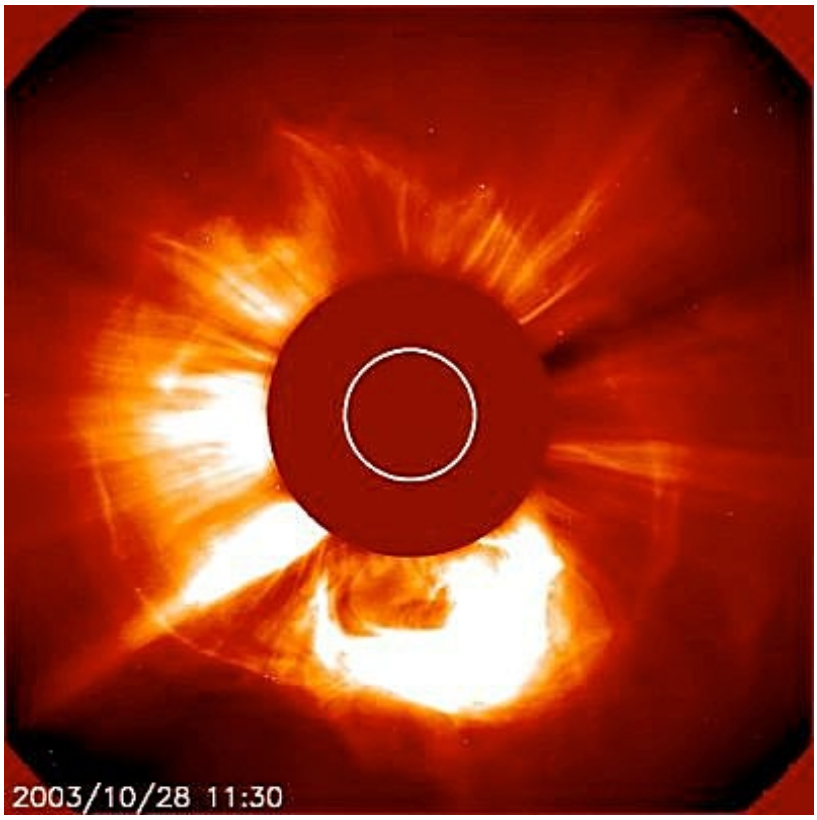
«دانه های برنج» بر سطح خورشید

در این مرحله، پیدایش تلاطم که به بالا آمدن انرژی به سطح کمک میکند، نگران کننده بنظر نمیرسد.

اگر خداوندگاری که اختیاراتی بینهایت در دست داشته باشد و بر این تصمیم باشد که بطور دموکراتیک
تمامی سیّارات سیستم منظومهٔ شمسی را با گرما تغذیه کند، بجای اینکه بگذارد ساکنین عطارد
در جای خود کباب شوند، و ساکنین پلوتون مثل بخت برگشتگان از سرما منجمد شوند،
میتواند تصمیم بگیرد خورشید را (که بیشتر از دستگاهی مثل جِت در هر متر مربع انرژی ساطع نمیکند)،
در پوسته ای که با رعایت فاصلهٔ ای معقول از سطح این ستاره قرار مینهد، محبوس سازد.

پس برای پراکنده کردن این کالری ها در تمام منظومۀ شمسی کافی میبود لوله هایی پر از آب فشردۀ مکش شده توسّط پمپ هایی در اندازه هایی (البته) نجومی، در اختیار میداشت.
(چنین مطلبی برای دانشجویان ترمودینامیک یک موضوع تمرین خوب خواهد شد).

امّا این پوسته با اوّلین فوران خورشیدی منهدم خواهد شد.



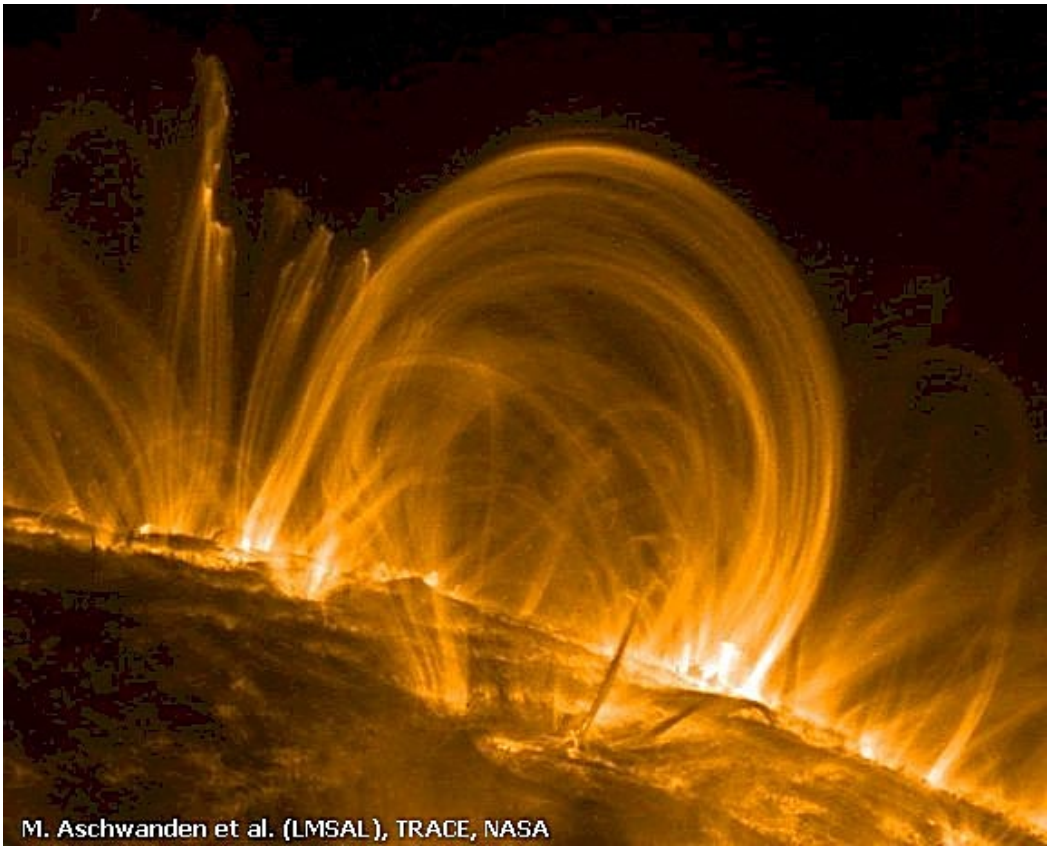
محیط خورشید که با یک دیسک کورونوگراف (Coronographe) **پوشیده شده است**

http://www.spaceweather.com/images22/2011oct11/cme_c2.gif?PHPSE20%20%SSID=03262a82v19dq6g9u4oat16hh1om/images22/2011oct11/cme_c20%20%.2gif?PHPSESSID=03262a82v19dq6g9u4oat16hh1

فورانهای خورشیدی، جلوۀ ناپایداریهای **ام. اچ. دی** (مگنتو هیدرودینامیک [هیدرودینامیک مغناطیسی] MHD) هستند، که از همه لحاظ به دیسروپسیون های توکامک ها شباهت دارند، چیزیکه از سال ۲۰۰۷ (۱۳۸۶ هـ.ش) در یک گزارش ۲۵۴ صفحه ای از انتشارات آکادمی علوم پاریس (Académie des Sciences de Paris) یادداشت شده بود.

آنها همانند دیسروپسیون ها با نوعی «تومور» (غده) شروع به فعالیت میکنند. مناطقی نزدیک به سطح خورشید هستند، که در آنجا فشار مغناطیسی به آن مقدار نیست که بتواند فشار پلاسما را دفع کند.

آیا تابحال تیوپ یک دوچرخه را باد کرده اید؟
اگر آنرا زیادی باد کنید، در قسمتی از تیوپ، کائوچو تحمل فشار را نداشته و دوام نخواهد آورد.
غدّه ای تشکیل خواهد شد و اگر باد کردن را ادامه دهید، میترکد.



فوران خورشیدی

وقتی کمان های پلاسما گسسته میشوند، همانند شتابدهندۀ ذرّات عمل میکنند، ذرّاتی که بطور طبیعی بار دارند و پلاسمای جوشان را بدور از خورشید پرتاب میکنند، این چیزیست که **بادهای خورشیدی** را تشکیل میدهد. این چیزی جز نوعی دیگر از پدیدۀ پراکنده ساز نیست، که تمایل دارد انرژی را بدور فرستاده و پراکنده سازد.

پدیده های مشابهی، مولّد دیسروپسیون ها در توکامک ها هستند که به جهش های انرژی با قدرتی خارق العاده منجر میشوند.

اگر بخواهیم یک توکامک را پایدار کنیم، همانند این است که امیدوار باشیم روزی خورشیدی فاقد فورانهایش مشاهدۀ کنیم.

یک گمان در مورد فروپاشی حرارتی.

این، نقطهٔ آغازین دیسروپسیون هاست، و هیچکس علّت آنرا نمیداند.
حالا من محتاطانه یک فرضیهٔ احتمالی ارائه میدهم.
در سال ۲۰۰۶ (۱۳۸۵ هـ.ش) ، دوست و همکار من، ملکُلم هِینز، یک پدیدهٔ مقاومتی غیر عادی در رشته های پلاسمای زِد-ماشین (Z-machine) را تشریح کرد.

مَلکُلم هِینز.
کالج سلطنتی، لندن
Malcolm Heines, Imerial College, London

دماهای بدست آمده بیش از حد بالا بودند.
و چون الکترونها با سرعت بیش از اندازه سریع در این مسیر طنابی شکل پلاسمای غلیظ در حرکتند، اثر ژول را نمیشد برای توجیه این مقدار انرژیی به پیش کشید.

بالاتر بدان اشاره شد، که وقتی سرعت الکترونها به سرحدّ معیّنی میرسد، از کنار یونها آنقدر سریع عبور میکنند که روی آنها که بار الکتریکی دارند، دیگر تأثیری نمیگذارند.
این چیزیست که وقتی دمای پلاسما در یک توکامک از ده میلیون درجه فراتر میرود تولید میشود.
اثر ژول ناچیز میشود.

پس هِینز نشان داد که تلاطم های ام. اچ. دی (MHD)، میتوانند لخته هایی که یون در خود جمع کرده اند را بیرون فرستاده و بدین ترتیب چیزی را تشکیل دهند که «پلاسموئید خود محصور شده» نامیده میشود، (توسّط میدان مغناطیسی خودش) که روسها آنرا اِسفِرومک (spheromak) نامیده اند.

این اشیاء که قطرشان یک میکرون است، در تخلیهٔ الکتریکی پینـچ ها مشاهده میشوند و «نقاط گرم» نامیده میشوند.

در رشته های یک زِد- ماشین (Z-machine) مواضعیکه «هدف» اصابت الکترونها قرار گرفته اند، دیگر یونهای منزوی نیستند بلکه یونهای توده شده هستند و بار الکتریکی زیادی در بر دارند.
به همین دلیل، افزایش اندَرکنش بین «گاز الکترونها» و «گاز یون ها» رخ داده و یک مقاومت غیر عادی بُروز میکند.

یک پدیدهٔ مشابه میتواند در توکامک ها بوقوع بپیوندد. در این شرایط، آغازی از اثر ژول میتواند نمایان شود، که روی منحنی دما که در بالا دیدیم خوانده میشود. امّا یک سرمایش شدید پرتوی، توسّط یک تابش ترمزی، اُفت ناگهانی دمای پلاسما در عرض چند هزارم ثانیه را در پی دارد.
به این دلیل ساده که، نیروی اتلاف شده، متناسب با توان ۲ بار الکتریکی افزایش پیدا میکند.

شکل منحنی دما مطابق است با تغیر و تحولات پدیده.

- در وهلهٔ اوّل، این خوشه های یون در آغاز تشکیلشان تحت اثر ژول، به گاز یون افزایش دما القاء میکنند.

- ولی بتدریجی که توده های یون بزرگ میشوند، اثری که غالب میشود اتلافِ فراگیرِ انرژیی است که توسّط تابش ترمزی تولید میشود.

در نتیجه : اگر این میکرو-ناپایداریهای ام. اچ. دی افزایش دمای پلاسمای متراکم را امکان پذیر مبسازند، ولی در عین حال، استفادهٔ توکامک ها را بعنوان مولّد انرژی محکوم میسازند.

طبق این اصطلاح فرانسوی : خوشبختی برخی، نگونبختی دیگران است.

پس دراینصورت راه حلّی میتواند وجود داشته باشد ؟

برای توکامک ها راه حلّی نمیبینـم، فکر میکنم پروژۀ ایتِر با اضمحلال کامل مواجه شود.
وشاید هم در پی آتشسوزی دستگاه، عامل فاجعۀ محیت زیستی بسیار بزرگی شود.

در سال ۲۰۰۶ (۱۳۸۵ هـ.ش)، زِد- ماشین کارگذاشته شده در ساندیا (Sandia)،
بدست آوری دمای بیش از سه میلیارد درجه در کمپرسور ام. اچ. دی، در مسیر طنابی شکلی از پلاسمای غلیظی به قطر و اندازۀ یک نوک مداد را امکان پذیر ساخت.

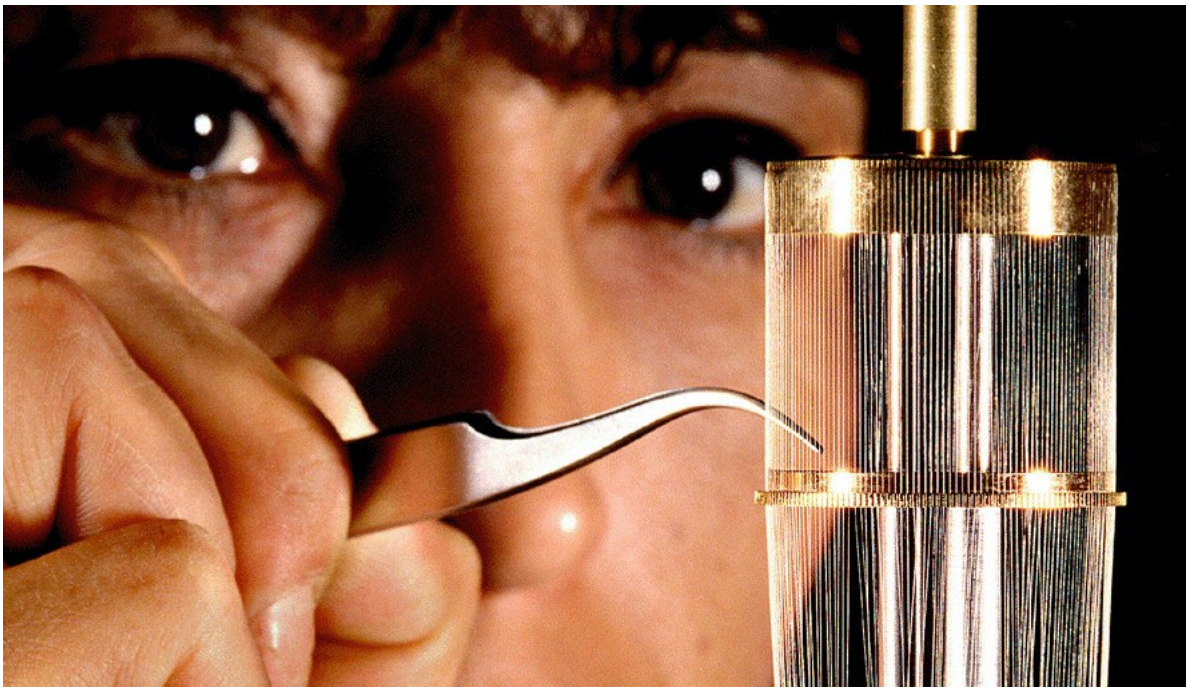
نحوۀ بدست آوردن چنین دمایی، تزریق یک جریان ۱۸ میلیون آمپری در قفسی متشکل از ۲۴۰ سیم فلزی، هر یک به اندازۀ یک تار مو بود.
یکنواختی این تراکم، به لطف زمان بسیار کوتاه دِشارژ ۱۰۰ نانو ثانیه ای (صد میلیاردم ثانیه) بدست آمد، که یک دادۀ ضروری این آزمایش است.
در واقع، یک دِشارژ الکتریکی که دارای مدّت زمان صعودی (تقریباً خطّی) ۱۰۰ نانو ثانیه ای است، معادل یک امپولسیون ۱۰ مگاهرتزی است.

درحالیکه میدانیم که جریانات بسامد بالا (فرکانس بالا)، در داخل هادی ها نفوذ نمیکنند، بلکه فقط در بخشی از عمق آن رخنه میکنند.

به همین موهبت، سیم ها که ۷۰/۰۰۰ آمپر (هفتاد هزار) از هر کدام از آنها عبور میکند، آنـاً از بین نرفتند، آنها تقارن محوری (اَکسی-سیمِتری) را حفظ کردند و از گسترش ناپایداریهای ام. اچ. دی جلوگیری بعمل آوردند و نگذاشتند که این ناپایداریها آن چیزیکه به پرده ای از پلاسما تبدیل میشد را پیچواپیچ کنند.

در سال ۲۰۰۹ (۱۳۸۸ هـ.ش)، توانایی دستگاه ساندیا به ۲۶ میلیون درجه رسانده شد و تئوری «که اینبار بخوبی مهار شده است» پیشبینی میکند که دمای حاصل شده باید حول و حوش ۷ میلیارد درجه بوده باشد.

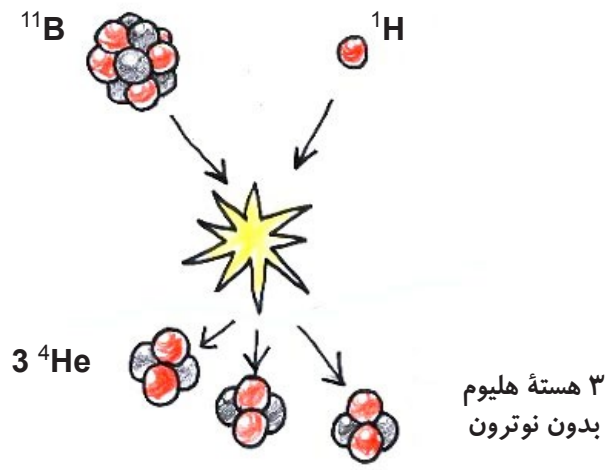
در روسیه، اِسمیرنُف (Smirnov) مخترع این «**قفس سیمی**» ، ساخت یک زِد-ماشین (Z-machine) با قابلیت تولید ۵۰ میلیون آمپر با مدت زمان صعود ۱۵۰ (صد و پنجاه) نانو ثانیه را هدایت میکند.



لاینِر سیمیِ ساندیا (**Sandia’s** Liner)

توانایی های بالای دستگاه با اختراع یک لاینِر توسط ساخارُف همکار اِسمیرنُف، که درآن سیمها طبق وتر یک کره چیدمان میشوند و تجمع زیادتری از انرژی سینِتیک (انرژی جنبشی cinetic) در مرکز هندسی سامانه تولید میکنند، باز هم افزایش یافتند.

این تجربیات، امکان بدست آوردن فوزیون توسّط تراکم ام. اچ. دی (MHD) را فراهم میگردانند.
چون دما از حد یک میلیارد درجه فراتر میرود (چیزیکه یک توکامک هرگز امکانش را میسّر نمیسازد)، یک فوزیون آنوترونیک امکانپذیر میشود :



^{11}Bore + ^{1}Hydrogène → 3 ^{4}He

اگر «شرایط لائوسون» (Lawson) در چنین محیط فوق متراکم گردهم آیند، فوزیون، تنها از طریق هسته های هلیومِ باردار الکتریکی و نه از طریق نوترونها، انرژی تولید خواهد کرد.
پس در اینصورت بطوریکه انبساط پلاسما در یک میدان مغناطیسی انجام شود، امکان بازیافت این انرژی از طریق «تبدیل مستقیم» وجود دارد.
پس در مارپیچهایی که این میدان را بوجود آورده اند، یک جریان القائی بوجود میآید که امکان بازپس گیری انرژی را با بازده ٪۷۰ (هفتاد در صد) فراهم میکند.

چنین چیزی تازگی ندارد. از سالهای ۱۹۵۰ (۱۳۲۹ هـ ش) به بعد، روسها با راهبری آندره ساخارُف (Andréi Sakharov) یک خرج منفجره ایکه قدرتش را با افزودن سِزیوم (cesium) قویتر کرده بودند (عنصری که در جدول مِندِلیُف از همهٔ عناصر آسانتر یونیزه میشود) منفجر میکردند.

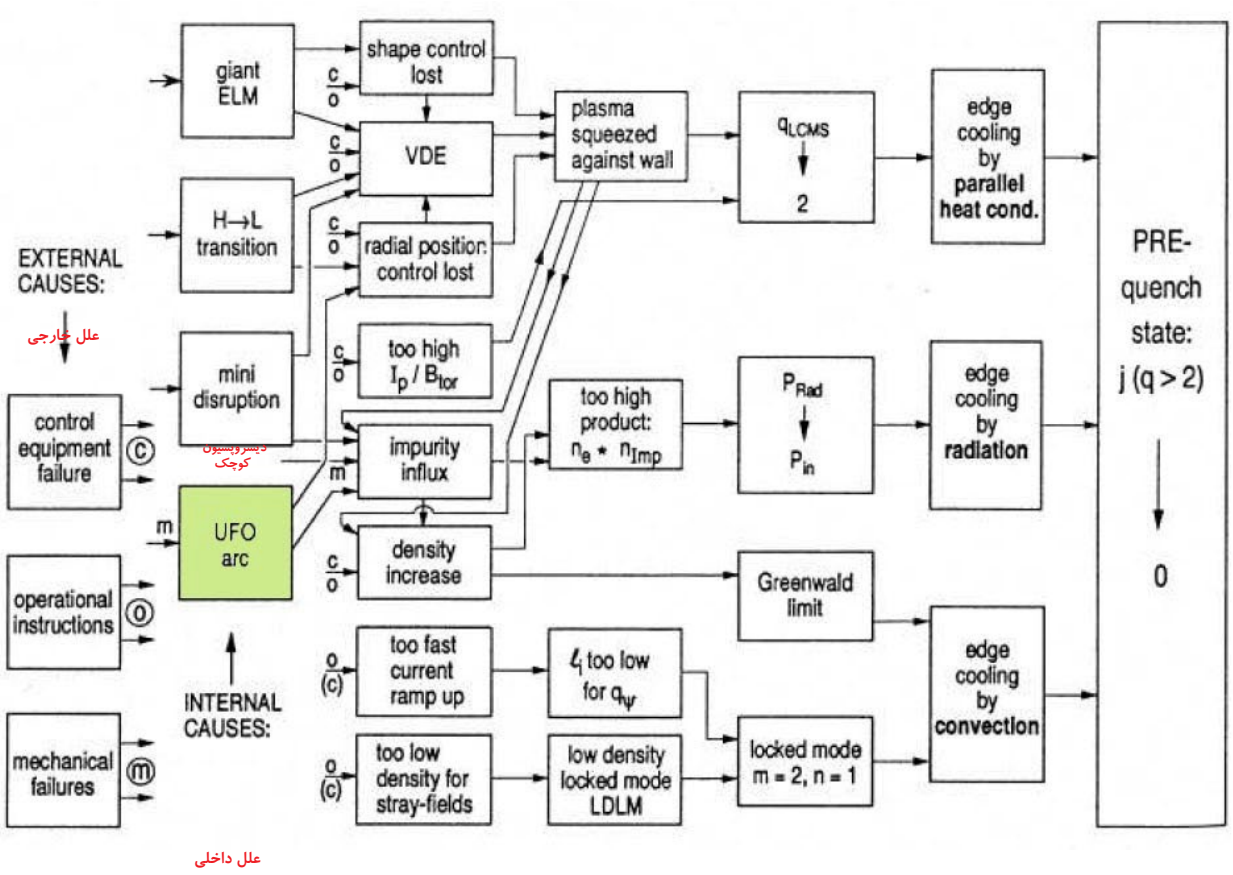
در اینجا مقولهٔ یک «دو زمانهٔ فوزیونی» سر از آستین در میآورد.
کافیست قسمتی از انرژی را در یک «ابزار هدایتی» ایکه حکم خازن (کُندانسور) را دارد انباشته کنیم و این از آنچه که بنظر میاید ساده تراست، چراکه این انرژی در واقع در «دی الکتریک» آن انباشته شده است.

با یک «دی الکتریک» مایع (مثل آب زِد-ماشین ساندیا) به مدّت زمانهای شارژ- دِشارژ خیلی سریع دست میابیم.

ولی همانطورکه کیپلینگ (Kipling) گفته است، این قصه ای دیگر است، که من در مطلبی دیگر که اختصاص به این نوع ماشینهای ام. اچ. دی (MHD) دارد برایتان نقل خواهم کرد.

بشقاب پرنده هایی (UFO) در توکامک ها !

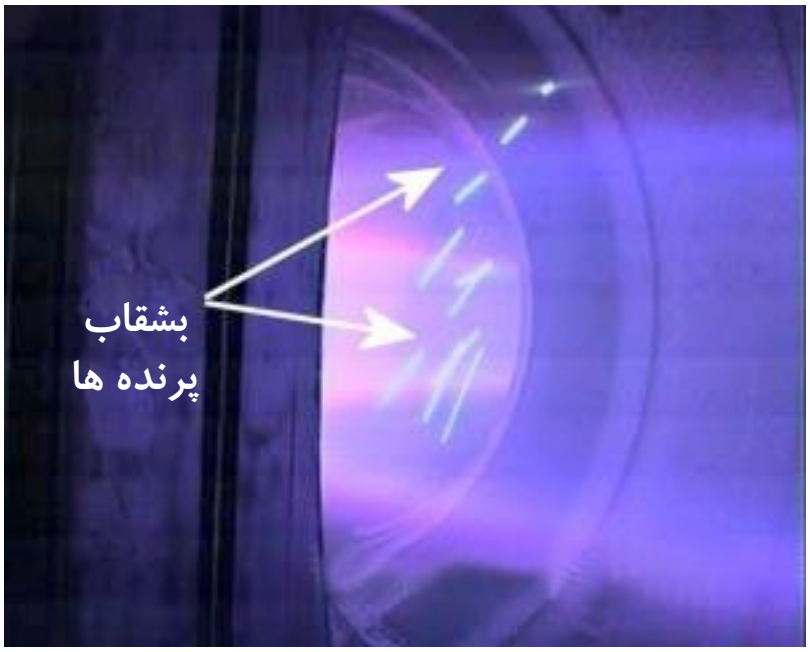
در صفحهٔ ۵۰ پایان نامهٔ آقای رو (Reux) یک نمودار سورئال میبینیم که تمامی علل ممکن دیسروپسیون ها را نمایان میکند. تعداد آنها بیشمار است.



شِماتیک علل ممکن یک دیسروپسیون

در این نمودار، یکی از خانه ها عجیب بنظر میرسد که در آن کلمهٔ «بشقاب پرنده» (UFO) دیده میشود.
بشقاب پرنده لغتیست برای تعیین اجسام ناشناسی که در اتاق توکامک ها عبور و مرور میکنند و مربوط میشوند به باقیمانده های مختلفی که در تماس کنترل نشدهٔ جداره با پلاسما از جداره جدا شده اند .
در گزارش آزمایش، که لینک آن در صفحهٔ ۱۹ است و مرتبط است به یکی از صفحات سایت آژانس انرژی اتمی فرانسه (CEA) به آن اشاره شده است.

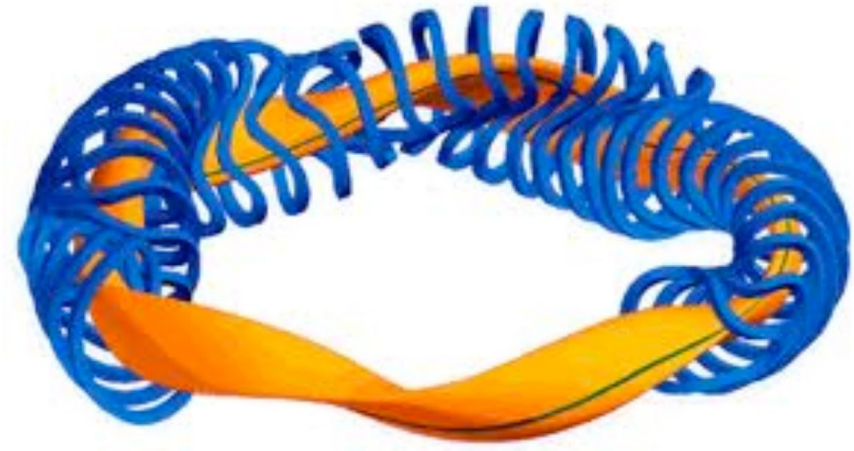
تصویر زیر عیناً از سایت آژانس (CEA) اقتباس شده است :



و توضیحات آن در اتاق فرمان آژانس :

با شُک بعدی، افزایش ناخالصی در ثانیهٔ ۱۶ : دیسروپسیون انجام میدهیم.
یک بشقاب پرنده (چیزیکه در تداولِ ابر- چنبره به آن بشقاب پرنده میگویند)، از جلوی دوربینهای مشهود عبور کرد. متخصصان طیف سنجی، آهن، نیکل و مس، در پلاسما پیدا کردند ...
این نشانهٔ خوبی نیست ! احتمالاً یک قطعه جلوی پلاسمای فوق داغ قرار گرفته.
پلاسما روی جدارهٔ داخلی اولّیه تکیه کرده است : دوربین مادون قرمز هیچ مشکلی روی خشت های کربن یافت نکرده، ولی دوربین مُشرف بر کلّ اتاق نیست.
محافظ های آنتن ها هم بهمین منوال در معرض هستند، ولی اینجا هم دوربینهای مادون قرمز که آنها را تحت نظر دارند هیچ چیز غیر عادی یافت نکردند.
مشورت برای تصمیم گیری برای ادامهٔ برنامه. فعلاً دشارژهای پاکسازی برای بازیافت دیسروپسیون میفرستیم. بالاخره با توافق فرمانده هرچه در چنته داریم را رو میکنیم :
برای محافظت از آنتن های FCI ، دو تا از سه تا را باهم استفاده میکنیم،
متناوباً اینکار را هر ۴ ثانیه یکبار، تکرار میکنیم ، عملیات آکروباتیکِ سطح بالاست ...
به علاوه، برای جابجا کردن نقطهٔ اصابت پلاسما بروی جداره و جلوگیری از گرم شدن بیش از حد، یک مودولاسیون هم روی قسمت عمودی پلاسما اضافه میکنیم.

پایان



بمب میخواهیم یا انرژی ؟

برای بازدید از ویدیوهای تشریح ایتر توسط ژان پییر پتُتی به نشانی زیر مراجعه فرمایید :

http://www.savoir-sans-frontieres.com/JPP/telechargeables/Persan/ITER_POUR_LES_NULS/ITER_POUR_LES_NULS_PERSAN.html