



El 1991 s'obtenia per primer cop una quantitat significativa d'energia per fusió nuclear. Aquesta fita constitueix el punt de partida cap a la utilització industrial d'aquesta potentíssima font d'energia, prevista per al 2050. El camí no està lliure d'entrebancs.

Present i futur de la fusió nuclear

Tot i que els primers treballs sobre fusió nuclear d'aplicació pacífica s'iniciaren a la dècada dels 50, no és fins al novembre del 1991 que per primera vegada s'obtenia una quantitat significativa d'energia en un experiment controlat de fusió, concretament en un reactor experimental del tipus tokamak (dispositiu que té forma de toroide, com una mena de dònut) anomenat JET (Joint European Torus), situat a Culham (Anglaterra). Tres anys després, al reactor TFTR de Princeton (EUA), s'obtenia una energia de fusió més elevada, encara que d'una durada menor.

Però, què és la fusió? Globalment, el procés consisteix a unir dos nuclis atòmics petits per formar-ne un altre de més gros i estable, amb un gran alliberament d'energia. A tall de comparació, un reactor seria una màquina en la qual fem entrar un litre d'aigua, que conté l'element indispensable per a la fusió: el deuteri (isòtop de l'hidrogen, amb un nucli format per un protó i un neutró), i que ens dóna una quantitat d'energia equivalent a 300 litres de petroli. I és que, encara que només un àtom de cada 6.000 d'hidrogen sigui deuteri, l'enorme extensió de la massa oceànica fa que la quantitat de deuteri present en aquesta no sigui gens negligible: uns 35 bilions de tones. Si fos possible que tot el deuteri contingut als oceans experimentés lentament un procés de fusió, hi hauria energia suficient per a proveir tota la humanitat durant 500.000 milions

d'anys, a la taxa de consum actual.

Però, en les experiències actuals, a més del deuteri s'hi utilitza un altre isòtop de l'hidrogen, el triti, perquè així el procés és més viable. Quan tots dos es fusionen en resulta un nucli d'heli i un de neutró, i la calor alliberada en el procés és l'energia que se n'obté. Però aquesta ha de compensar les pèrdues per radiació. És per això que

Encara que el procediment de fusió és més net que el d'obtenció d'energia per fissió, també té riscos que caldrà tenir en compte.

s'utilitza un aparell anomenat divertor, i que es recobreixen els reactors amb diversos materials per minimitzar aquestes pèrdues energètiques.

L'energia obtinguda per fusió supera, i de bon tros, l'obtinguda per fissió nuclear, procés utilitzat per les centrals nuclears actuals, i que es basa en l'escissió en dues parts d'un nucli pesant (urani o plutoni) amb alliberament d'energia. Així, per exemple, si un gram d'hidrogen es convertís en heli per fusió, alliberaria unes quinze vegades més energia que no un gram

d'urani en fissionar-se. I és que la fusió no és un fenomen gens estrany, ben al contrari, és un procés nuclear molt habitual i d'una importància cabdal a l'Univers, car és el responsable de fer "funcionar" el sol i els altres estels.

Diversitat de procediments.

Les investigacions realitzades sobre fusió han donat lloc a dos mètodes de treball: la fusió per confinament magnètic i la fusió per confinament inercial. En el primer, més avançat i utilitzat, la matèria s'escalfa a altíssimes temperatures fins a obtenir plasma i es confina amb potents camps magnètics durant un temps suficientment llarg perquè es produeixi el nombre suficient de reaccions de fusió. Els avantatges de la fusió respecte a la fissió són clares, però la complexitat del projecte en demora la producció industrial. La fusió ofereix més seguretat, perquè s'atura amb facilitat. La dificultat està a mantenir-la. El problema principal està en l'obtenció i en el manteniment de les condicions ara esmentades, és a dir: altes temperatures i densitats, i durant prou temps perquè es desenvolupi plenament el procés. En un futur, potenciar aquests factors ens pot permetre d'efectuar la fusió de deuteri amb deuteri, que produirà menys radioactivitat que el triti, o fins i tot hidrogen amb hidrogen, que no és gens radioactiu. I és que cal esmentar que la fusió no és un procés tan totalment net com sembla; evidentment ho és més que la fissió, però també té riscos que caldrà tenir en compte.



Tore-Supra: vistes des de l'interior.

A Tore magnètic supraconductor en procés de muntatge: tall meridià sobre el qual es veuen les diferents encintes del criostat que aïlla el tore magnètic.

B Primer envà davant del plasma del costat intern del Tore (PPI). Les imatges termogràfiques efectuades en procés de descàrrega evidencien la pujada de la temperatura de les briquetes de grafit de la PPI, així com dels limitadors.

C Primer envà del costat extern del Tore: ergòdic, antenes *gril* i limitadors.

El mètode del confinament inercial s'assembla més a les condicions de gran densitat que regnen als estels. Es troba en una fase menys avançada, i la col·laboració d'àmbit mundial és nul·la, sobretot perquè va vinculada a temes militars. En el confinament inercial s'utilitzen poderosos raigs làser per comprimir una bola en què es manté la barreja de deuteri i triti, i després "cremar-la" immediatament per fusió. L'obtenció, doncs, de làsers cada vegada més potents és primordial perquè la compressió sigui major i es cremi més combustible. En aquest sentit s'han realitzat investigacions a Livermore (EUA) o a Limeil-Valenton (França). Actualment hi ha una màquina en projecte: la Instal·lació Nacional d'Ignició, i a França, per exemple, es construirà enguany un làser de característiques semblants.

El JET, segons sembla, prosseguirà la seva tasca. Hom havia plantejat amb anterioritat el projecte NET (Next European Torus) com a continuació del JET, però ha quedat aparcat pel projecte ITER —que explicarem més endavant—. En la nova fase d'investigacions del JET hom provarà de treballar amb un plasma amb més quantitat de triti i verificarà si el confinament del plasma és millor quan el triti és abundant, alhora que millorarà, si és possible, la manipulació

d'aquest element. El Tore-Supra fou el primer a utilitzar material superconductor. Aquesta mena de materials ens permeten de crear amb una mínima despesa energètica corrents d'intensitat força elevada, que indueixen camps magnètics molt intensos.

Encara que el JET continuï la seva tasca, la cooperació entre la Unió Europea, el Japó, els EUA i Rússia ha portat a un nou projecte de reactor experimental: l'ITER (Reactor Experimental Termonuclear Internacional). Actualment se n'elabora el disseny, amb contínues variacions per a millorar-lo. Un tema delicat, segons que afirma Xavier Dies, professor titular d'universitat en l'àrea d'Enginyeria Nuclear de la UPC, és la decisió d'escollir l'emplaçament del reactor, pel qual opten, a Europa, tres llocs: Cadarache (on hi ha el Tore-Supra), Alemanya i Suècia; però també hi pugnen el Japó i els Estats Units. Sembla que Europa parteix amb avantatge; en primer lloc perquè és capdavantera mundial en fusió, i en segon lloc perquè els dos directors que ha tingut l'ITER fins ara han estat europeus. Tanmateix, el centre principal és a San Diego, però també hi ha centres satèl·lits a Alemanya i al Japó (centres de disseny), i a Rússia (on hi ha la part administrativa). Segons Xavier Dies, decidir el lloc

FUSIÓ NUCLEAR



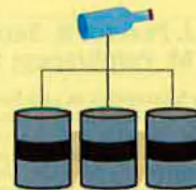
En el procés de fissió el nucli d'un element radioactiu es parteix



En el procés de fusió, els dos nuclis s'uneixen per formar-ne un de nou

És el procés energètic que es produeix al sol i als altres estels. La fusió es pot realitzar amb deuteri o triti, dues de les formes en què es presenta l'hidrogen.

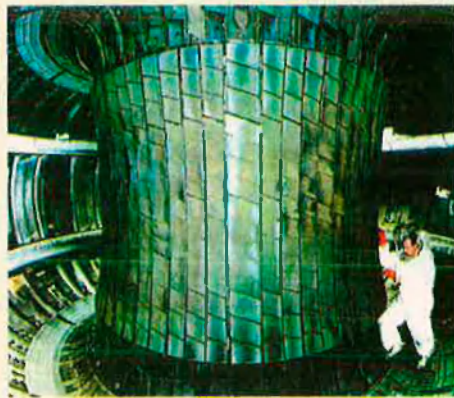
Gràcies al deuteri contingut en l'aigua, un litre d'aquest líquid proporciona l'energia equivalent a 300 litres de petroli.



L'aigua de tots els oceans conté 35 bilions de tones de deuteri, suficient per proveir d'energia tota la humanitat durant 500.000 milions d'anys

L'aportació catalana a la fusió

A part el JET, cal destacar el treball complementari de fusió, en el mètode de confinament magnètic, que realitzen el JT-60U japonès, el Tore-Supra francès, l'ASDEX-U alemany, el FT-U italià, etcètera. Actualment, a Europa, hi ha vint-i-set centres que col·laboren en investi-



Enginyers catalans han col·laborat amb el JET.

gacions sobre fusió. Mentre no arribi el moment de l'ITER, els científics del TFTR i dels altres grans tokomaks exploraran noves idees, com ara qüestions relacionades amb la física del plasma i dirigides a la construcció de reactors més petits i barats, que possiblement influirán en el diseny de l'ITER. Cal dir, per exemple, que a Madrid es construeix un reactor de fusió que probablement funcionarà d'aquí a uns mesos, i que a Alemanya construeixen un reactor del mateix tipus, però d'una grandària semblant al JET.

Catalunya també fa la seva aportació a programes de fusió nuclear, tot i que el nostre país no té tradició en aquest camp. L'aportació comença a nivell docent, i actualment ja s'imparteix una assignatura de fusió nuclear a l'Escola d'Enginyers Industrials de Barcelona. A més, s'han

realitzat diversos projectes de final de carrera i tesis doctorals en col·laboració amb el JET i el Tore-Supra, fet que ha permès que diversos enginyers catalans entressin en contacte amb aquests grans centres de fusió. Però el lligam català amb la fusió no s'acaba aquí. Xa-

vier Dies ens esmenta la realització d'estudis informàtics sobre com fer funcionar i aturar un reactor. S'agafen dades experimentals del JET, del Tore-Supra, del TFTR i del DIII-D, i mitjançant simulacions per ordinador hom intenta de repetir-ne els experiments, és a dir, compara els resultats experimentals i els que apareixen en ordinador.

Paral·lelament, també hi ha una col·laboració amb el CIEMAT (Centre d'Investigacions Energètiques, Medioambientals i Tecnològiques) de Madrid, en la línia "stellarator". Això permetrà de facilitar dades experimentals del futur reactor i del que es construirà a Alemanya. Aquests són, doncs, els primers passos de col·laboració del nostre país en aquesta llarga cursa que és la fusió nuclear. D. S.

i acabar la fase d'estudi —tot això es realitza de manera paral·lela— pot trigar ben bé un parell d'anys; seguidament hom en decidirà la construcció, que podria veure's, tanmateix, ajornada.

L'ITER serà un tokomak encara més gros que no el JET, i tindrà tres metres de diàmetre exterior i interior respectivament (3 i 1,25 m al JET). Haurà de mantenir un plasma estable en fusió, no durant fraccions de segon com fins ara, sinó durant milers de segons. Així, per exemple, s'espera que s'aconsegueixi la ignició d'un plasma de deuteri-triti al llarg de més de mil segons, amb una potència de fusió de 1,5 gigawatts. El reactor anirà equipat amb bobines superconductores, instal·lacions de manteniment de triti i manteniment remot.

No hi ha dubte que l'experimentació, junt a l'anàlisi teòrica i les simulacions per ordinador, millorarà molt la nostra capacitat de controlar aquests processos. Però cal dir que l'ITER solament serà un reactor destinat a demostrar la factibilitat de la fusió termonuclear controlada. L'objectiu del projecte serà de crear en el futur un reactor semblant al que seran les futures plantes comercials. L'etapa següent serà un reactor de demostració anomenat DEMO, i cap a l'any 2050 podrem veure un reactor industrial per a obtenir energia de fusió. Però per a arribar-hi cal encara recórrer un camí que es preveu difícil, no mancat de dificultats.

David Serrador

Fonaments de bioquímica

J. Peretó; R. Sendra; M. Pamblanco; C. Bañó

La bioquímica és una forma d'estudi de la biologia, aquella que tracta de revelar els secrets moleculars de la vida. Els conceptes bioquímics bàsics són fonamentals per a estudiants de disciplines molt diverses.



Universitat de València
"Educació, Materials", 15

La pota de Pepín Pip

Estrella Ramon

Li diuen Estrella Ramon. L'hivern passat agafà un refredat fortíssim i hagué de passar al llit una setmana. Allà s'estava quan, de sobte, aparegué Pepín Pip, el virus més despistat de tots els virus de la grip. Il·l. de Marieta Pijoan



Edicions del Bullent
"Cavallet de Mar", 6

Sala d'espera

Vicent Borràs

Els personatges d'aquest llibre s'entrecreuen i teixeixen una teranyina que atrapa el lector entre la realitat i la ficció. Premi de novel·la Modest Sabat de Perpinyà 152 pàgs. 1.500 ptes.



Edicions Bromera
"L'Eclèctica", 39

