

Instituto Jones dos Santos Neves
Biblioteca

CIÊNCIA & TECNOLOGIA

FUSÃO NUCLEAR

O Sol ensina como produzir energia

Jeremy Bernstein

The New York Times

Produzir energia da mesma forma que o Sol, através da fusão nuclear, é o que vem tentando o Laboratório de Física do Plasma da Universidade de Princeton, nos Estados Unidos. A fusão é o mecanismo básico responsável pelo brilho do Sol e de outras estrelas. No centro solar, a uma temperatura de 14 milhões de graus centígrados, os núcleos dos átomos se fundem com a liberação de uma enorme carga de energia.

A fusão é também o mecanismo básico da mais poderosa força que o homem já criou sobre a terra: a bomba de hidrogênio. E quase desde o momento em que imaginaram a bomba, muitos de seus criadores iniciaram a difícil tarefa de tentar controlar a fusão nuclear para fins não militares.

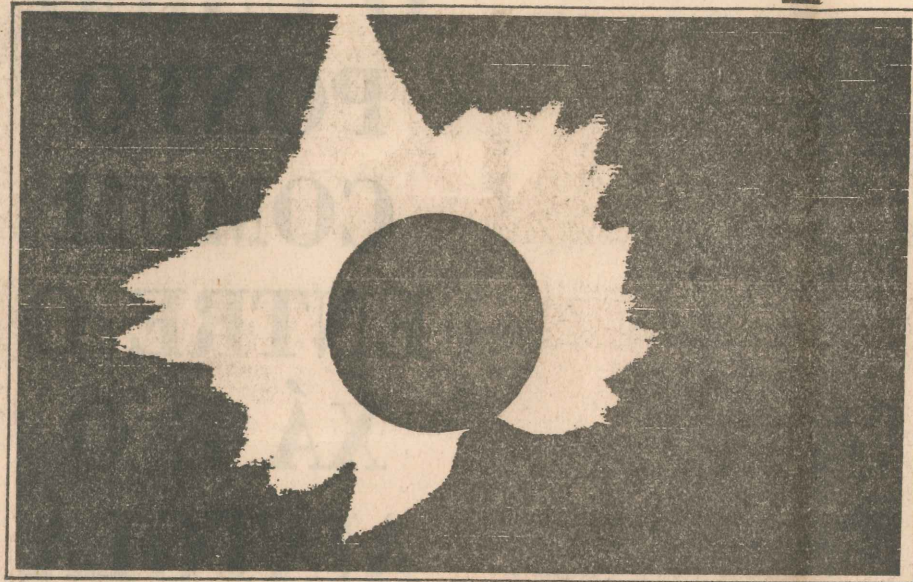
Menores riscos

Hoje, passados mais de 30 anos, os cientistas estão perto de sua meta. Parece claro que a fusão nuclear poderá eventualmente resolver um importante problema energético mundial — a produção de eletricidade — com riscos mais razoáveis para o meio-ambiente. Os perigos da fusão são muito menores e fáceis de solucionar do que os ocasionados pelas atuais usinas nucleares, que utilizam o processo de fissão.

Construir e operar estas usinas, de forma segura, é um empreendimento muito caro e estocar o material radioativo delas resultante constitui também um difícil problema. Por isso não se planejam hoje nos Estados Unidos outras usinas deste tipo, além daquelas cuja construção já foi iniciada.

Além de mais seguras, as usinas de fusão nuclear provavelmente utilizarão, em grande parte, hidrogênio obtido das águas do mar, tendo potencial para produzir enormes quantidades de energia elétrica e atender ao consumo mundial.

Têm sido lentos e difíceis os progressos nas tentativas de controlar a fusão nuclear. Em 1978, os cientistas americanos conseguiram atingir uma temperatura de 70 milhões de graus centígrados, suficiente para que a fusão ocorra, mas não em número que possibilite seu emprego prático. No ano passado, os pesquisadores de Princeton, numa difícil e elaborada série de experiências, conseguiram obter um número de fusões muitas vezes maior do que as já conseguidas em testes controlados deste tipo.



Esta fotografia do Sol foi tirada durante um eclipse total

nêutron e grande quantidade de energia, a maior parte proveniente de nêutron, como demonstra a equação de Einstein — $E = mc^2$ (energia igual a massa vezes o quadrado da velocidade da luz). Neste caso, massa significa na verdade perda de massa. Cerca de 0,4% da massa original se perde quando o deutério e o trítio se transformam em hélio. A mudança parece pequena, mas quando multiplicada pelo quadrado da velocidade da luz vê-se que houve uma enorme liberação de energia.

Se, por exemplo, pudéssemos fundir todos os núcleos existentes numa grama de deutério, a energia liberada equivaleria à produzida pela queima de duas toneladas de petróleo. Um galão de água (3,78 litros) contém deutério — hidrogênio pesado — capaz de produzir tanta energia quanto 300 galões (1 mil 134 litros) de gasolina.

O principal equipamento de testes de fusão em funcionamento em Princeton é o PDX (Poloidal Divertor Experiment). Perto dele está situado o Reator de Testes de Fusão Tokamak (TFTR), que deverá entrar em operação no final deste ano. Seu custo é estimado em 314 milhões de dólares.

Cerca de 75 cientistas e técnicos trabalham exclusivamente no PDX, que é circundado por paredes de concreto de cerca de seis metros de altura por 60 centímetros de espessura, de forma a conter os nêutrons liberados e os raios X que se desprendem do equipamento quando em funcionamento.

Uma mistura fria de hidrogênio e deutério é injetada na máquina, dentro da qual se forma um plasma.

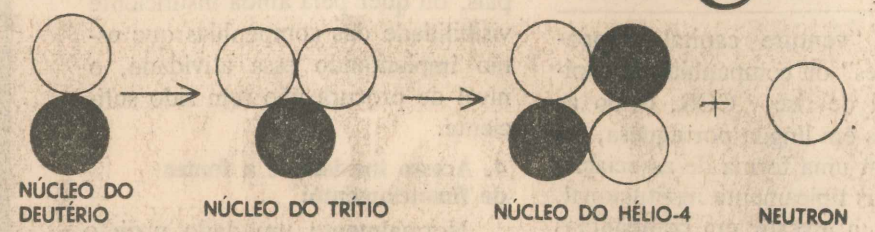
plasma, aproveitando seu acentuado potencial de condução de eletricidade. Criava-se, assim, um segundo campo magnético perpendicular ao primeiro. A uma temperatura de 100 milhões de graus centígrados, o plasma tem uma capacidade de condução de eletricidade 30 vezes maior que a do cobre.

A combinação dos dois campos magnéticos — um horizontal e outro vertical — força as partículas do plasma a permanecerem dentro de órbitas em forma de hélice, isto é, confinadas numa espiral em torno do buraco do centro da cápsula, dentro dos limites dos campos magnéticos, não tocando as paredes frias.

Outras experiências semelhantes e paralelas foram feitas em 1952 em Princeton pelo astrofísico Lyman Spitzer Jr., sem que houvesse qualquer intercâmbio com os cientistas soviéticos. Estes testes foram considerados confidenciais por ambas as partes até 1958.

Vencendo barreiras

Com uma outra cápsula tokamak os cientistas de Princeton conseguiram atingir 70 milhões de graus centígrados em 1978. Mas temperaturas elevadas não são suficientes para produzir energia útil. Temperatura e conteúdo de calor não são a mesma coisa. A primeira reflete a velocidade das partículas, enquanto a segunda depende tanto da velocidade quanto do número de partículas. Se houver poucas partículas, mesmo que elas se fundam não produzirão muita energia.



Na fusão, o núcleo de um deutério (gás em altíssima temperatura) pode combinar com um núcleo de trítio para produzir hélio — liberando um nêutron extremamente energético

vel inspecioná-lo. Mas havia poucas evidências de que algo extraordinário acabara de acontecer. Quase não havia radiatividade residual. O gás tinha esfriado e sido retirado da cápsula.

Os operadores dos reatores de fusão nuclear terão, no futuro, que lidar com uma quantidade considerável de radiatividade, mas esta será muito menor que a dos atuais reatores de fissão. Em primeiro lugar, um reator de fusão produz material bem menos radiativo do que, por exemplo, um reator breeder de fissão. Em segundo, pode-se escolher o tipo de material que produzirá, de modo que o resíduo possa voltar a níveis biologicamente seguros dentro de centenas e não de milhares de anos.

Dentro dos magnetos do tokamak foi encontrado também pouquíssimo magnetismo residual, ao contrário dos primeiros equipamentos de teste para a fusão nuclear.

Quando a fusão ocorre em um plasma suficientemente denso, por tempo adequado e a temperaturas suficientemente altas, ela fornece energia em quantidade que permite a manutenção destas temperaturas sem a necessidade de se recorrer a novas fontes adicionais de calor. E, mantendo-se o plasma quente, as fusões se sucederão enquanto se acrescentarem pequenas quantidades de deutério ou uma mistura deste com trítio.

Com o deutério puro, a combustão ocorre a cerca de 50 milhões de graus centígrados e o tempo de confinamento deve ser cerca de 100 vezes mais longo que o décimo de segundo já alcançado no PDX. Com uma mistura de trítio e deutério, as reações de fusão acontecem a cerca de 60 milhões de graus centígrados, numa velocidade aproximadamente 10 vezes maior do que com o deutério puro. Mas há alguns inconvenientes na mistura. O trítio é radiativo e perde suas características em apenas 12 anos. Praticamente não existe mais trítio natural pois o elemento perdeu toda sua radiatividade desde seu aparecimento há milhões de anos. Hoje, ele precisa ser fabricado.

Portanto a mistura será, certamente, o material empregado na primeira geração

que o programa, pelo menos a princípio, prosseguirá a passo mais lento.

Usinas de fusão

Os problemas de segurança nos reatores de fusão e de fissão são totalmente diferentes. No primeiro, não há a possibilidade de um grande acidente por escape. Se houver um vazamento do plasma este esfriará interrompendo o processo de fusão. Mas, mesmo se todo o combustível na usina de fusão entrar em reação ao mesmo tempo, sua quantidade é tão pequena que a temperatura da manta de proteção subiria apenas 100 graus centígrados, o que é quase nada comparado ao que acontece durante um acidente num reator de fissão.

Neste caso, os produtos em fissão esquentam as estruturas do reator. Em Three Mile Island, por exemplo, a radiatividade residual do material resultante da fissão esquentou o núcleo do reator a uma temperatura de muitos milhares de graus centígrados.

Uma usina de fusão com uma produção anual de 1 bilhão de watts de eletricidade usará apenas nove quilos de trítio como combustível produzindo um lixo radiativo de 115,4 metros cúbicos, a ser reciclado ou eliminado. Embora esta quantidade de resíduo seja mais ou menos a mesma de um reator de fissão, pode-se escolher um material de radiatividade mais fraca e menos duradoura. Num reator de fissão não há opção pois a natureza já escolheu os produtos a serem fissionados — como o estrôncio e o criptônio — alguns dos quais devem ser enterrados em lugares seguros por milhares de anos.

A manta de proteção de uma usina de fusão conterá lítio. Quando um nêutron atinge um núcleo deste elemento, ocorre a produção de hélio e trítio. Assim, o combustível trítio pode ser fabricado na manta enquanto o reator trabalha. A máquina produz seu próprio combustível.

É necessário também manter a manta "fria", a uma temperatura de 400 a 500 graus centígrados. No processo de refrigeração, o material refrigerador esquentará e

A temperaturas acima de 10 mil graus centígrados, toda matéria entra no que os físicos chamam de estado plasma. Os elétrons — leves partículas de carga elétrica negativa que circundam o núcleo de um átomo — separam-se deste, resultando um gás de elétrons livres juntamente com outro gás de núcleos, de carga positiva.

A idéia básica da fusão controlada é utilizar as propriedades do estado plasma. Sendo este formado por partículas eletricamente carregadas, pode ser guiado por campos magnéticos. Tomam-se elementos leves como os gases deutério e trítio — aquecendo-os a uma temperatura de pelo menos 100 milhões de graus centígrados. Muito menos densos que o plasma do Sol, estes elementos precisam ser aquecidos a temperaturas consideravelmente maiores. Se estes novos plasmas forem estritamente confinados magneticamente, a temperaturas altíssimas, os núcleos de seus átomos colidirão e se fundirão, formando átomos de hélio e deixando livre um nêutron de um dos núcleos em colisão.

O núcleo de um átomo de deutério contém um próton (carga positiva) e um nêutron (carga nula). O trítio contém um próton e dois nêutrons. Quando seus núcleos se fundem, se transformam num núcleo de hélio — com dois prótons e dois nêutrons. No processo são liberados um

grau centígrados. O processo de aquecimento, o material refrigerador esquentará e o calor será usado para produzir vapor. Este, por sua vez, impulsionará os geradores de eletricidade.

tério é injetada na máquina, dentro da qual se faz passar uma corrente elétrica, criando-se dois campos magnéticos. Introduzindo-se um feixe de raios laser dentro do PDX é possível determinar a velocidade das partículas do plasma, calculando-se sua temperatura. Este "termômetro" funciona de forma semelhante ao chamado efeito Doppler, pelo qual se pode calcular a velocidade de um trem medindo-se a mudança no timbre do apito.

O PDX é um exemplo altamente desenvolvido do reator de fusão conhecido como tokamak (palavra criada em russo para designar uma câmara toroidal — em forma de pneu — contendo um campo magnético). Os físicos soviéticos Andrei Sakharov e Igor Tamm, num estudo datado de 1950, estabeleceram o conceito básico da tokamak.

O plasma aquecido é confinado dentro da cápsula e correntes elétricas circulam por uma espiral colocada em torno dela, produzindo um campo magnético em seu interior. O gás tende a se manter dentro deste campo magnético mas não por muito tempo. As partículas aquecidas começam a sair dos limites do campo chocando-se contra as paredes frias da cápsula, perdendo calor.

No estudo, Sakharov propunha a passagem da corrente elétrica não apenas em torno da cápsula, mas diretamente pelo

produzirão muita energia.

Até o ano passado, a densidade do plasma utilizado no PDX era tão baixa que, mesmo com uma temperatura como a do centro do Sol, o conteúdo de calor obtido era menor do que o existente no ar quente que sai de um radiador. O objetivo principal do PDX era elevar o conteúdo de calor do plasma, mas quando os pesquisadores aumentavam consideravelmente a densidade deste, não conseguiam mais atingir as mesmas temperaturas.

Depois de várias semanas de testes, passaram a injetar um fluxo adicional de átomos de deutério juntamente com uma corrente de 50 mil volts, o que significa 50 vezes a quantidade de energia das partículas já existentes dentro da cápsula. Os novos átomos "quentes" se chocavam indiscriminadamente contra os mais frios, aumentando sua velocidade e, conseqüentemente, sua energia. Quanto mais rápido se movimentavam mais quentes ficavam. Em menos de um décimo de segundo atingiram 70 milhões de graus centígrados.

O plasma produziu cerca de 40 trilhões de fusões, liberando quase o dobro de energia das experiências anteriores com a fusão.

Poucos minutos depois de o interior da cápsula toroidal ter atingido temperaturas maiores que a do centro do Sol, tornando-se temporariamente radiativo, já foi possí-

vel de usinas a fusão nuclear, por sua reação mais rápida a temperaturas relativamente mais baixas.

Embora as pesquisas com o tokamak sejam as mais adiantadas no momento no setor da fusão nuclear, há muitas outras experiências de confinamento de plasma em campos magnéticos.

Não se pode dizer com precisão também quando a energia produzida por fusão será explorada comercialmente. A próxima geração de grandes tokamaks — como o Reator de Testes de Fusão Tokamak, que deverá entrar em funcionamento em Princeton este ano, e o projeto conjunto europeu do Reator Torus, que começará a operar em 1983 na Inglaterra — tem sido planejada para produzir mais de 30 milhões de watts, o que, em termos práticos, está longe de ser suficiente. Uma moderna usina de fissão nuclear produz cerca de 1 bilhão de watts de energia.

Se tudo correr bem, o protótipo final de uma usina nuclear empregando o método da fusão começará a operar pouco depois do ano 2000. O custo total do programa americano neste setor deverá ser de 12 a 15 bilhões de dólares, segundo cálculos do Departamento de Energia, mas o Congresso estima que a quantia será de 20 bilhões de dólares. Nas atuais circunstâncias de austeridade financeira, parece

Praticamente todas as despesas de um reator de fusão ficarão por conta da construção. Menos de 10% deverão ser empregados em combustível e na manutenção. Para ser competitivo, um reator de fusão de 1 bilhão de watts precisa custar 3 bilhões de dólares (3 mil dólares por kW de capacidade).

Pode-se perguntar se vale a pena gastar 20 bilhões de dólares para tornar a fusão nuclear uma fonte de energia viável economicamente. Embora isto não seja uma resposta, é bom lembrar que a China pesquisa o assunto desde 1955 e que, além dos Estados Unidos, a União Soviética, Europa Ocidental e Japão têm programas neste setor. O japonês está para se tornar um dos mais adiantados do mundo.

Além disso, quase 30% do consumo total de energia nos Estados Unidos se destinam à produção de eletricidade. E, apesar das medidas de conservação, o consumo de eletricidade nas nações industrializadas deverá crescer substancialmente até o ano 2000.

Jeremy Bernstein é professor de Física do Stevens Institute of Technology e escreve para The New Yorker. Seu próximo livro será Science Observed.