



A Europa vai “HiPER”

Jonathan R. Davies

Investigador Auxiliar, GoLP, Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear, Instituto Superior Técnico
jrd@ist.utl.pt

NO PASSADO DIA 6 DE OUTUBRO, MAIS DE DUZENTOS CIENTISTAS E POLÍTICOS DE DEZ PAÍSES EUROPEUS E DOS ESTADOS UNIDOS – INCLUINDO TRÊS CIENTISTAS DE PORTUGAL – REUNIRAM-SE NO MUSEU DE CIÊNCIA EM LONDRES PARA ASSISTIR AO LANÇAMENTO PRESTIGIOSO DO PROJECTO HIPER: “HIGH POWER LASER FOR ENERGY RESEARCH (LASER DE ALTA POTÊNCIA PARA INVESTIGAÇÃO NA ÁREA DE ENERGIA)”.

A fase preparatória deste projecto, que se iniciou em Abril de 2008 e decorre até 2011, conta com um orçamento de quase 15 milhões de Euros dividido entre 26 institutos, incluindo o Instituto Superior Técnico (IST) em Portugal. A construção deste laser, com conclusão prevista para 2020, custará mais de mil milhões de Euros. Mas o que é

este projecto e porquê investir tanto dinheiro numa máquina que emite luz?

O objectivo principal do HiPER [1] é produzir energia a partir da fusão nuclear do hidrogénio – um sonho perseguido pelos cientistas durante mais de cinquenta anos. Mas este não é o único objectivo: o HiPER vai permitir estudar a física das estrelas, como o Sol, das supernovas, dos núcleos dos planetas densos, como a Terra e Júpiter, a formação dos elementos pesados no princípio do universo e muitas outras áreas de física fundamental. A fusão nuclear é um tipo de reacção nuclear, o que significa que é uma reacção entre os núcleos do átomo, em vez dos electrões à sua volta como acontece numa reacção química. Na fusão, dois núcleos juntam-se para formar um elemento mais pesado. Ao fenómeno oposto chamamos fissão, em que um núcleo se separa em dois (ou mais) elementos mais leves: a fissão do urânio é a base das centrais nucleares que existem hoje em dia. A fusão de elementos mais leves do que o ferro, que é o núcleo mais estável, é uma reacção exotérmica, isto é, liberta energia.

A fusão do hidrogénio produz hélio e liberta um milhão de vezes mais energia que qualquer reacção química. É a fonte de energia do Sol, e é o processo através do qual, no início do Universo, todos os elementos até ao ferro foram gerados a partir do hidrogénio; o processo que criou os elementos mais pesados ainda não está esclarecido. Estas qualidades tornam o hidrogénio o mais duradouro e melhor



Cerimónia de lançamento do projecto HiPER

combustível de que dispomos para gerar electricidade, através da fusão: o Sol vai esgotar-se antes que se esgote o hidrogénio na terra e os produtos da fusão não são poluentes, não contribuem para o efeito estufa e não são radioactivos.

O grande problema é que para superar a repulsão eléctrica entre os núcleos é preciso manter temperaturas de, pelo menos, um milhão de graus, a temperatura do Sol. A estas temperaturas toda a matéria se torna plasma – um gás ionizado composto de electrões e iões – e então não se consegue conter o combustível, como se faz com fontes convencionais numa fornalha ou lareira.

Sabemos que o Sol funciona porque a sua massa é suficiente para conter o plasma graças à força da gravidade. Aqui na Terra, estamos a estudar duas técnicas para o problema de como lidar com um combustível tão quente que nada lhe pode tocar. A primeira consiste em confinar o plasma usando campos magnéticos que fazem os electrões e iões girar à sua volta, sendo por isso chamada fusão magnética. Na segunda, deixa-se simplesmente uma pequena quantidade de plasma expandir no meio de um reactor numa série de micro-explosões, designando-se fusão inercial por depender de inércia do plasma para manter as condições necessárias para a fusão. O HiPER pretende demonstrar a viabilidade da fusão inercial para uma futura central eléctrica. O mega-projecto ITER [2], que já está a ser construído com um custo de 5 mil milhões de Euros,

pretende fazer o mesmo com a fusão magnética. Na fusão inercial, a quantidade de hidrogénio que se pode utilizar é limitada a alguns miligramas, para que a energia produzida não seja demasiada para conter num reactor com um diâmetro de, por exemplo, dez metros. Esta limitação cria um problema: só uma pequena fracção do hidrogénio vai fundir antes que o plasma expanda. A solução consiste em aumentar a densidade cerca de mil vezes antes que se inicie o processo de fusão: assim comprimidos, os núcleos de hidrogénio colidem com mais frequência. Densidades desta magnitude só ocorrem naturalmente nos núcleos de estrelas, como o Sol, e de planetas densos, como Júpiter. Na fusão inercial, recorre-se à implosão de uma pequena esfera oca: a parte exterior de esfera é aquecida até produzir um plasma, que então se expande a alta velocidade, funcionando como um foguetão que implode a esfera. Uma redução de dez vezes no raio desta aumenta mil vezes a densidade.

Se a velocidade de implosão for suficiente (cerca de mil vezes a velocidade de som), a colisão das paredes no centro dá origem a temperaturas suficientemente altas para iniciar a fusão. Na verdade, este esquema já funcionou, utilizando os raios-X produzidos pela explosão de uma bomba atómica em testes subterrâneos. Estes testes faziam parte do desenvolvimento de bombas de hidrogénio – o primeiro exemplo de produção de energia a partir da fusão nuclear na Terra. Com a proibição destes testes, tanto os Estados Unidos como a França, que querem manter as suas bombas de hidrogénio, viram-se forçados a procurar um método alternativo. E em ambos os casos, esse método é usar grandes, grandes lasers: o laser americano chama-se National Ignition Facility (NIF) [3], o francês é o Laser Mégajoule (LMJ) [4], cada um deles custando mais de 10 mil milhões de Euros e ocupando a área de três estádios de futebol. Mas aqui impõe-se a questão: como é possível obter fusão com luz? Os lasers são capazes de concentrar luz num impulso de tal modo curto que está muito além da nossa compreensão (tão curto como um milésimo de um bilionésimo de segundo, ou femtosegundo, $1 \text{ fs} = 10^{-15} \text{ s}$) e focá-la numa área mais diminuta que a ponta de um cabelo. Os lasers mais potentes da actualidade têm potências de mil biliões de Watts (petawatt, $1 \text{ PW} = 10^{15} \text{ W}$) – mais do que a potência de todas as centrais eléctricas do Mundo juntas – e conseguem produzir uma densidade de energia (energia por metro cúbico) um milhão de vezes superior à densidade de energia de um explosivo químico. Se esta energia fosse completamente absorvida por um sólido, elevaria a sua temperatura a milhares de milhões de graus. De facto, os lasers potentes actuais já deram origem a uma nova e vibrante área de física experimental: a *física das altas densidades de energia*, que ante-

Fusão inercial: como será no HiPER em três passos



48 feixes laser com uma energia total de 300 mil Joules irradiam a superfície de uma esfera durante um milésimo de um milionésimo de segundo. A expansão do plasma criado faz a esfera implodir e aumenta a sua densidade mil vezes. É como juntar a lenha na lareira.

Um feixe laser, guiado por um cone de ouro, deposita 10 mil Joules no centro de esfera em 10 bilionésimos de segundo e aquece-o até 100 milhões de graus, que inicia reacções de fusão. É como acender uma pinha no meio da lenha com um fósforo.

As reacções de fusão no centro de esfera aquecem o resto e as reacções espalham-se. Energia sai na forma de neutrões com um total de cem vezes mais energia que a energia dos lasers. É como a lenha acender-se e aquecer a casa.

Repete-se de uma a dez vezes por segundo

riormente estava limitada à teoria e às observações astronómicas. Mas para a fusão inercial, “bastam” lasers com uma potência de um bilião de Watts (terawatt, $1 \text{ TW} = 10^{12} \text{ W}$) e um impulso moderadamente “longo” de um milésimo de milionésimo de segundo (nanosegundo, $1 \text{ ns} = 10^{-9} \text{ s}$).

O NIF e o LMJ são constituídos por cerca de duzentos feixes laser, com uma energia total de 2 milhões de Joules. Estes serão usados em simultâneo para aquecer até um milhão de graus o interior de um pequeno cilindro de ouro chamado *hohlraum*, que por sua vez vai emitir raios-X suficientes para comprimir e aquecer uma esfera com um milímetro de diâmetro no seu interior; por isso, esta técnica chama-se irradiação indirecta. As reacções de fusão nestes dois lasers libertarão até dez vezes mais energia que aquela entrou no *hohlraum*; diz-se assim que o ganho é dez. Estas experiências irão começar no NIF em 2010, e no LMJ alguns anos mais tarde. À parte o caso da bomba, será a primeira demonstração de ganho com fusão (no NIF já estão até a imaginar a capa da revista “Time”!). Será sem dúvida alguma um momento marcante na historia de fusão; porém, mesmo já contando com um grande aumento na eficiência dos lasers, uma futura central eléctrica precisará, no mínimo, de um ganho de cem (dez vezes superior ao actual), e de um “tiro” por segundo, quando o NIF e LMJ só deverão disparar uma vez por dia!

Mas existe uma maneira mais eficiente de utilizar os lasers: irradiar a superfície da esfera directamente, a chamada irradiação directa. Nem no NIF nem no

LMJ utilizarão esta técnica, porque apenas a fusão com raios-X é relevante para fins militares, e porque, afinal, já sabemos que funciona. A irradiação directa foi a primeira abordagem tentada nos anos sessenta, e falhou. Estas experiências foram abandonadas na maioria dos laboratórios, com duas excepções: Rochester nos Estados Unidos [5], um laser de 60 feixes com uma energia total de 40 mil Joules, e Osaka no Japão [6], com 12 feixes e uma energia total de 10 mil Joules. Hoje sabemos as razões porque as primeiras experiências falharam, e como contorná-las. Densidades até cem vezes a densidade de um sólido já foram atingidas e reacções de fusão já são uma coisa de rotina nestes laboratórios, embora produzam muito menos energia do que aquela que entrou.

Em 1994 uma nova ideia ganhou forma na área da fusão inercial, ao prometer um enorme aumento na eficiência: a *ignição rápida* [7]. O conceito é utilizar lasers dos mais potentes que existem para aquecer até 100 milhões de graus uma pequena fracção do hidrogénio comprimido, mas tão rapidamente que não lhe dá tempo para se expandir: 10 bilionésimos de um segundo ($10 \text{ ps} = 10^{-11} \text{ s}$). Isto serve como “faísca” para incendiar o resto do combustível. Neste esquema não é preciso atingir velocidades de implosão tão altas, logo densidades maiores podem ser atingidas com a mesma energia. Além disso, a zona aquecida pode estar à densidade máxima atingida, o que reduz a energia necessária, e o aquecimento pode ser mais eficiente.

A ignição rápida deu uma nova direcção e alento às experiências com os lasers de alta potência e motivou a construção de lasers ainda mais potentes em Osaka (FIREX), Rochester (Omega EP), Bordéus, França (PETAL) [8] e Sandia, Estado Unidos (Z-beamlet) [9]. No NIF já existem

planos para instalar mais lasers destes nos próximos anos e, quem sabe, poderiam assim atingir o muito ambicionado ganho de cem.

Entretanto, todos estes desenvolvimentos levaram a que, há alguns anos atrás, dois cientistas no Reino Unido se interrogassem: será que a irradiação directa com ignição rápida permitiria conseguir o ganho de cem com menos de um milhão de Joules? E com um laser que podia ser construído pela comunidade científica Europeia? Decidiram lançar esta ideia numa pequena reunião de cientistas Europeus em 2004, e alguns começaram a estudar esta hipótese. O nome HiPER surgiu pouco depois. Quando nós organizamos a quinta reunião do HiPER em Abril de 2006 no IST, participaram mais de trinta cientistas de dez países. Em 2007 foi colocada mais uma pergunta: será que conseguimos construir o primeiro laser com a eficiência e a taxa de repetição necessárias para uma central eléctrica? Hoje acreditamos que a resposta a estas perguntas é sim, e estamos a trabalhar para preparar o caminho para a construção deste laser.

Há muitos desafios pela frente, e não são apenas de índole científica. Na verdade, talvez o maior de todos seja atrair mais alunos para esta importante área: Portugal ainda não formou nenhum doutorado na área de fusão inercial, e mesmo nos Estados Unidos, na França e no Reino Unido podem-se contar pelos dedos os doutorados formados em cada ano. Fica o convite: se está a tirar, ou pensar em tirar, um curso de física, nós precisamos de si para fazer parte dos cientistas que vão fazer o HiPER funcionar.

Jonathan Davies fez a sua formação académica no Imperial College, Londres, entre 1989 e 1996, ano em que completou a sua tese de doutoramento no grupo de física dos plasmas sob a orientação do A. R. Bell. Trabalhou mais 2 anos neste grupo como *Research Associate*. No fim de 1998 veio para o Grupo de Lasers e Plasmas (GoLP) do Instituto Superior Técnico com uma bolsa europeia Marie Curie. Actualmente tem um contrato de Investigador Auxiliar no recentemente criado Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear. É responsável por várias tarefas relacionadas com a ignição rápida no projecto HiPER.

[1] HiPER (<http://www.hiper-laser.org/>)

[2] ITER (<http://www.iter.org>)

[3] NIF (<https://lasers.llnl.gov/>)

[4] LMJ (<http://www-lmj.cea.fr/html/cea.htm>)

[5] LLE Rochester
(<http://www.lle.rochester.edu/>)

[6] ILE Osaka (<http://www.ile.osaka-u.ac.jp/>)

[7] M. Tabak, J. Hammer, M. E. Glinsky, W. L. Kruer, R. J. Mason, S. C. Wilks, J. Woodworth, E. M. Campbell e M. D. Perry, "Ignition and high gain with ultrapowerful lasers", *Physics of Plasmas* 1, 5 (1994).

[8] PETAL (<http://petal.aquitaine.fr/>)

[9] Sandia Z-Beamlet
(<http://www.z-beamlet.sandia.gov/>)