

Do Macro-Cosmos ao Micro-Cosmos

P. J. Mendes

Departamento de Física, Universidade de Coimbra, 3004-516 Coimbra, Portugal

(pjmendes@fis.uc.pt)

Resumo

As ciências físicas estudam tudo desde o maior objecto existente - o Universo - até à mais pequena manifestação de matéria - quarks e bosões- bem como quase tudo o que existe entre eles. Galáxias, estrelas, planetas, materiais, radiação, moléculas e átomos, são objecto de estudo quer com carácter “puro” (para saber como as coisas funcionam) quer com carácter aplicado (para melhorar ou simplificar a vida dos humanos na Terra). Inúmeras coisas, nos mais variados domínios (energia, vestuário, electrónica, medicina, etc.), que tomamos por certas no nosso dia a dia, tiveram a sua origem em investigação fundamental sobre assuntos que, aparentemente, nada fazia prever que pudessem ter uma aplicação prática directa. O transistor é um dos exemplos paradigmáticos mas há outros, como o computador pessoal (PC) ou a máquina fotográfica digital.

Nas páginas seguintes descreve-se algumas das experiências que procuram estender o limite do nosso conhecimento no macro-Cosmos (os novos telescópios) e no micro-Cosmos (os aceleradores de partículas), por um lado, e dois campos de experimentação que estão no limite da tecnologia (as nanopartículas e a fusão nuclear). A compreensão de alguns dos requisitos tecnológicos destas experiências permite perceber como elas “puxam” a engenhosidade humana ao limite e permitem fazer não só novas descobertas científicas mas também grandes avanços tecnológicos.

Introdução

No meio do caminho em nossa vida,
eu me encontrei por uma selva escura
porque a direita via era perdida.

Dante Alighieri, ‘Divina Comédia’

Para onde vamos?

Há um consenso generalizado, embora não unânime, que a civilização moderna (historicamente conhecida como Idade Moderna) teve o seu início em Florença, em meados do Séc. XIV, devido a um conjunto de circunstâncias sócio-políticas locais sendo de destacar a queda de Constantinopla para os Turcos Otomanos (em 1453) que provocou um êxodo de muitos Bizantinos para a península Itálica. Estes eram portadores da herança cultural Grega e trouxeram consigo muitos livros e manuscritos, dando origem a um renovado interesse pela cultura clássica. ⁽¹⁾

Esta revolução cultural, que se iria espalhar rapidamente por toda a Europa, recuperou o indivíduo humano do seu papel secundário, a que estava remetido pela estrutura político-religiosa da Idade Média, para o de principal protagonista da civilização europeia (Humanismo), dando-lhe a possibilidade de, por meio de educação, compreender o seu lugar no Universo e na Sociedade. A crença nas capacidades humanas individuais e a possibilidade de compreender a sua posição na Natureza levaram ao estudo e desenvolvimento das Ciências Naturais e da Medicina (Leonardo da Vinci, Vesalius, Galileu, Newton, etc.) que culminariam na revolução industrial do Séc. XIX e na revolução tecnológica da segunda metade do Séc. XX.

Se compararmos a evolução da Civilização Moderna com a de uma vida humana diríamos que teve uma infância produtiva (Renascimento), uma adolescência revolucionária (Revolução Industrial), um jovem adulto muito agitado e confuso (1ª metade Séc. XX) e uma meia idade genial (2ª metade Séc. XX). Levou a vida sem preocupações e tem vivido acima das suas possibilidades. Mas agora enfrenta dois problemas que ameaçam a sua sobrevivência: a gorda herança que a Natureza nos deixou está a esgotar-se; e o pátio das traseiras está a ficar cheio de lixo.

Só agora se está a generalizar a consciência de que a nossa civilização pode morrer por falta de recursos e/ou por destruição do meio ambiente. Muitas das civilizações anteriores (Pérsia, Egipto, Grécia, Roma, China) nunca tiveram este problema pois, quando esgotavam os recursos locais, sempre tiveram a opção de se expandir para novos territórios, o seu fim foi ditado mais por conquistas militares do que por incapacidade de sobrevivência. Por outro lado a poluição que provocamos pode vir a alterar o sistema climático Terrestre

¹ <http://pt.wikipedia.org/wiki/Renascimento> e refs. aí incluídas.

de tal modo que poderemos ter dificuldade em sobreviver (com a qualidade de vida a que estamos habituados) em muitas áreas do globo.

O que fazer para contrariar estes problemas e proporcionar aos nossos descendentes mais umas centenas (milhares) de anos de elevada qualidade de vida? Foi a Ciência e o desenvolvimento científico que nos proporcionaram este ‘Maravilhoso Mundo Novo’ e não é de surpreender que seja esta mesma Ciência a proporcionar algumas das soluções.

Ciência — disciplina auto-reguladora

A partir do momento em que o conhecimento técnico e filosófico deixou de obedecer a absurdas regras de secretismo e fidelidade (como era exigido pelas Guildas e outras sociedades de influência) o conhecimento da natureza começou a crescer a um ritmo alucinante. Uma grande vantagem deste aumento de conhecimento, e da sua divulgação alargada por meio de livros e escolas, foi a maior facilidade em manipular os fenómenos naturais em nosso favor e melhorar as condições de vida das pessoas. O enorme sucesso da pesquisa científica e o concomitante desenvolvimento tecnológico da sociedade moderna pode ser atribuído à metodologia de pesquisa adoptada e que é genericamente referida como o “Método Científico”.

O que é o “Método Científico”? sem entrar em grande profundidade nesta questão filosófica ⁽²⁾ podemos dizer que é, basicamente, um conjunto de premissas e regras de boas maneiras que tornam as observações da natureza, por um lado, credíveis para os nossos pares e para a sociedade em geral e, por outro, confirmáveis (ou refutáveis) por outras observações.

Uma das principais premissas da actividade científica a que se aplica aquele nome é de carácter moral, quando observamos a natureza devemos fazê-lo sem preconceitos nem julgamentos parciais. Não podemos deixar que essas observações sejam influenciadas por teorias, crenças ou preconceitos que tenhamos acerca delas. Se o não fizermos, para além do desprezo dos nossos pares, podemos passar ao lado de grandes descobertas. Outra premissa importante é a da honestidade nas observações e conclusões delas tiradas e a sua divulgação com informação suficiente para permitir a outros reproduzir ou expandir as observações realizadas. Este é um “princípio auto-regulador” que torna a pesquisa científica bastante resistente a fraudes e a teorias sem fundamento. Se, como cientistas, pretendemos que o nosso trabalho seja reconhecido temos que fornecer toda a informação necessária para que a nossa investigação seja reproduzida por outros. Se o não fizermos (ou se fizermos batota ou fraude) poderemos ser desmascarados facilmente pelos nossos pares. Uma área particularmente afectada por problemas de fraude é a investigação médica e farmacêutica mas existe em todas as ciências ⁽³⁾

Há dois mitos populares associados ao método científico que convém referir, e refutar: o de que é uma receita segura para se obter resultados relevantes (científicos ou outros), e o de que se trata de um método universal aplicável a quase tudo.

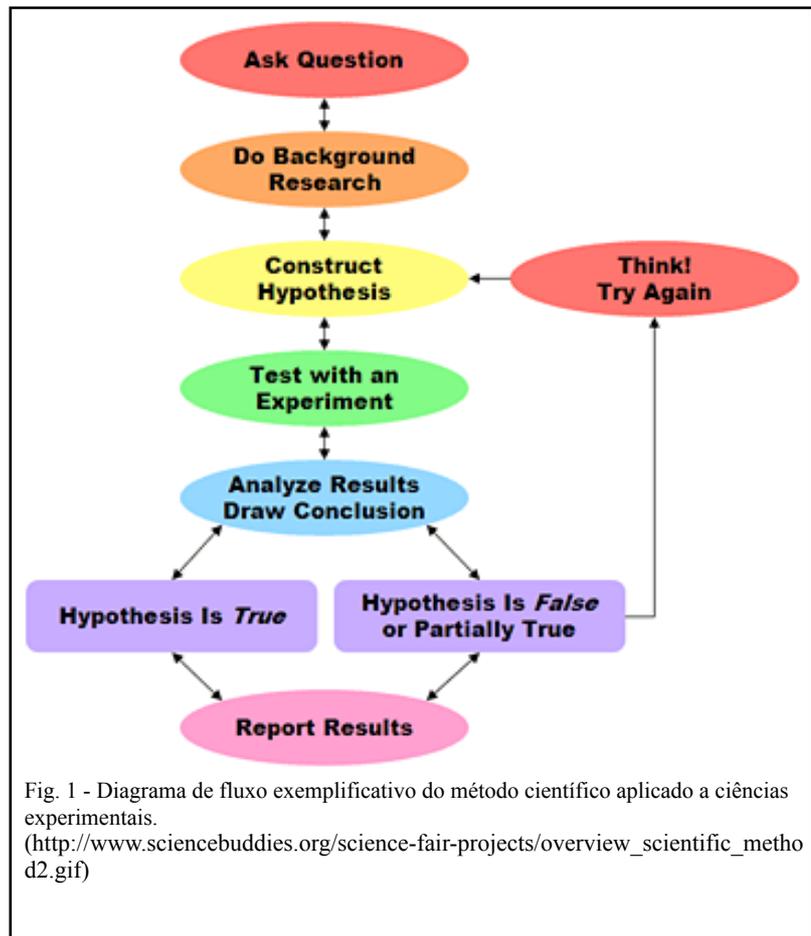


Fig. 1 - Diagrama de fluxo exemplificativo do método científico aplicado a ciências experimentais. (http://www.sciencebuddies.org/science-fair-projects/overview_scientific_method2.gif)

² http://en.wikipedia.org/wiki/Scientific_method

³ ver por ex. http://en.wikipedia.org/wiki/Scientific_misconduct, http://en.wikipedia.org/wiki/Ian_Hendrik_Schön

Relativamente ao primeiro mito, na realidade, o método científico nem é um método no sentido mais usual do termo, nem sequer é, muitas vezes, muito metódico. É muito vulgar apresentar um diagrama de fluxo ilustrativo (fig. 1) mas, embora para ciências experimentais seja uma representação razoável do processo genérico de investigação, nenhum cientista o segue literalmente. Há ciências que não são experimentais mas sim observacionais (astronomia, astrofísica, ecologia, geologia, etc.), ou seja, não é possível (ou fácil) realizar experiências controladas devido à natureza dos objectos naturais observados, nestes casos a confirmação de hipóteses tem que ser feita por mais observação, comparação ou analogia com outras observações, etc.. Certos cientistas subvertem aquela ordem, alteram-na, saltam passos, enfim, usam metodologias que, para eles, funcionam e, se os resultados apresentados forem creíveis, são tão válidos como qualquer outro, é aqui que entra a intuição e a genialidade.

O segundo mito é o que, perante um problema de carácter geral, leva as pessoas a dizer com frequência “mas os cientistas não podem resolver isto?” É uma afirmação geralmente associada a muitas questões sociais, económicas, políticas, médicas, etc. em que se pressupõe que aplicando o método científico a qualquer problema devemos obter a melhor solução possível. Porque é que isto não é verdade? uma das razões é que é preciso muito cuidado a aplicar o método científico a ciências onde o que se observa não é mensurável com uma métrica objectiva e independente do observador (consciência, psicologia, história, estética, etc.). Se não é possível quantificar inequivocamente as grandezas observadas não se pode comparar os resultados de diferentes experiências. Por vezes também não é possível fazer várias experiências para testar diferentes hipóteses (perante uma ameaça de guerra um político não pode dizer: vamos fazer a guerra e se não funcionar (se perdermos) experimentamos fazer a paz...). Em algumas ciências é possível aplicar o método científico mas só em casos particulares (economia, sociologia) noutros casos não faz mesmo sentido sequer pensar na metodologia científica (filosofia, política).

Como a ciência pura chega aos consumidores

A necessidade da existência das ciências “puras e duras”, no sentido de parecer terem muito pouco a ver com a nossa vida do dia a dia, pode ser demonstrada com dois exemplos de aparelhos modernos que tomamos como garantidos mas que não teriam surgido se não tivessem sido necessários para fazer ciência pura. Trata-se do computador modular compacto (vulgo PC) e da máquina fotográfica (ou de filmar) digital.

PC: No início da década de 70 (do Séc. XX) os computadores disponíveis estavam a tornar-se mais compactos devido ao uso dos transístores e dos primeiros circuitos integrados mas continuavam a ser uns grandes armários monolíticos e muito caros. Por esta altura a pesquisa em Física, no domínio das reacções nucleares e partículas elementares, estava em grande expansão e dispunha de aceleradores cada vez mais poderosos e com feixes mais intensos. Com uma maior intensidade dos feixes ocorriam cada vez mais fenómenos interessantes por unidade de tempo e os métodos usados para os registar começaram a não ter capacidade para os observar com eficiência. Estes métodos consistiam no uso de chapas fotográficas para registar traços deixados pelas partículas em detectores ou contadores electrónicos que contavam determinados acontecimentos, registados pelos detectores, mediante uma complicada selecção dos sinais feita electronicamente. Por outro lado o nível de sofisticação das experiências estava a crescer e para observar certas partículas ou fenómenos (o que os físicos chamam canais de reacção) era necessário proceder a um conjunto de seleções automáticas que eram cada vez mais difíceis de programar electronicamente. Foi no início desta década que um dos maiores fabricantes de computadores da altura, DEC (Digital Equipment Corporation) lançou um computador mais compacto que viria a tornar-se revolucionário, o modelo PDP 11⁽⁴⁾(fig. 2). Embora os primeiros modelos fossem versões mais simples

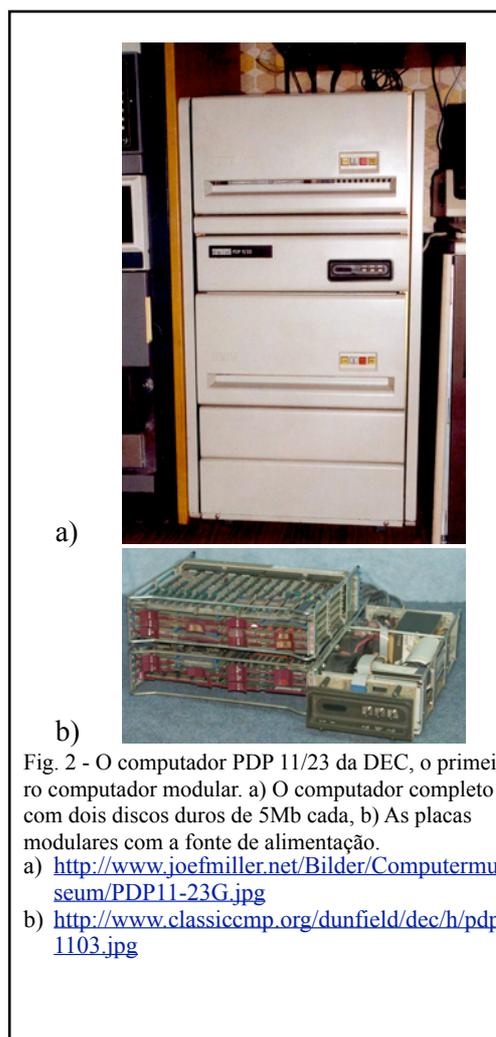


Fig. 2 - O computador PDP 11/23 da DEC, o primeiro computador modular. a) O computador completo com dois discos duros de 5Mb cada, b) As placas modulares com a fonte de alimentação.

a) <http://www.joefmiller.net/Bilder/Computermuseum/PDP11-23G.jpg>

b) <http://www.classiccmp.org/dunfield/dec/h/pdp1103.jpg>

⁴ <http://www.pdp11.org/>

dos grandes computadores anteriores uma das características que depressa estabeleceu estes computadores nas áreas científicas foi a sua modularidade. A grande inovação da DEC foi criar um sistema a que se podia juntar módulos diversos ligando-os ao seu “Bus” (barramento) interno. Esta característica foi rapidamente aproveitada pelos físicos de altas energias pois puderam criar módulos de aquisição de dados, de controle de aparelhos externos, etc., e integrá-los em programas de controlo e selecção dos dados adquiridos.

EM 1981 a IBM lançou no mercado o primeiro PC inspirado no PDP 11 (PC-Model 5150) usando componentes acessíveis e mais baratos que os da DEC. Este computador tornou-se um sucesso imediato e o resto é história. Actualmente, muitos de nós dependemos do computador, para a nossa vida e actividades profissionais, diariamente. Curiosamente, os principais competidores, na altura, deste novo tipo de computador, Commodore 64 (1982) e Apple II (1977, IIPlus-1979 e IIe-1983), eram muito mais baratos mas eram computadores monolíticos sem capacidade de expansão para além de alguns periféricos e, rapidamente foram suplantados comercialmente pois as vantagens da modularidade do PC tornou-o desejável não só para empresas mas também para os consumidores. Actualmente, encontramos um ressurgimento deste tipo de computador na forma dos portáteis que são tão populares hoje em dia. Os modernos PC modulares continuam a ser utilizados nos laboratórios para controlo de experiências e aquisição e manipulação de dados (fig. 3).



Fig. 3 - Um dos laboratórios do LIP (Laboratório de Instrumentação e Partículas) em Coimbra onde computadores são utilizados para aquisição de dados e controlo das experiências.

Os CCD (Charged Coupled Devices) foram inventados no início da década de 70 com a intenção de substituírem as memórias de bolha (bubble memory,⁵). O primeiro CCD usado, para recolher imagens, em astronomia foi um de 320×512 pixel, arrefecido à temperatura do azoto líquido (-216°C), instalado no telescópio de 1m do Kitt Peak National Observatory em 1979 (AZ, USA)⁽⁶⁾. As primeiras observações depressa evidenciaram as várias vantagens destes sensores em relação às chapas fotográficas. A eficiência quântica

⁵ http://en.wikipedia.org/wiki/Charge-coupled_device

⁶ http://astro-canada.ca/_en/a2310.html

(sensibilidade) era maior por um factor de mais de 50 vezes, a resposta do CCD é muito linear (as chapas fotográficas são altamente não lineares) logo é fácil de calibrar, e a resposta do sensor é bastante uniforme. Estas características permitiram efectuar novas observações com precisão muito mais elevada e descobrir inúmeros novos objectos celestes de luminosidade pouco intensa.

O desenvolvimento deste tipo de sensores continuou em ritmo acelerado até que se tornou realizável (e viável comercialmente) colocar um destes sensores numa câmara fotográfica. A primeira câmara digital comercial foi lançada pela Kodak em 1991, tinha 1,3 Mpixel e custava US\$13000. Actualmente qualquer telemóvel tem uma câmara de 3 Mpixel ou mais e já não há máquinas fotográficas com menos de 5 Mpixel, com preços que começam na centena de euros. Actualmente o maior sensor usado em câmaras fotográficas tem ~60 Mpixel (~ 54 mm × 40 mm) e é usado em câmaras de formato médio. A maior câmara fotográfica actual é a MegaCam do telescópio de 3,6 m CHFT (Canada-France-Hawaii Telescope) no Hawaii, é formada por um mosaico de 40 CCD para um total de 340 Mpixel (⁷)

Além destes dois exemplos de como a actividade científica acaba por gerar benefícios para os consumidores há muitos outros, de que se destacam: GPS, Web, TAC, RMN, PET, etc.

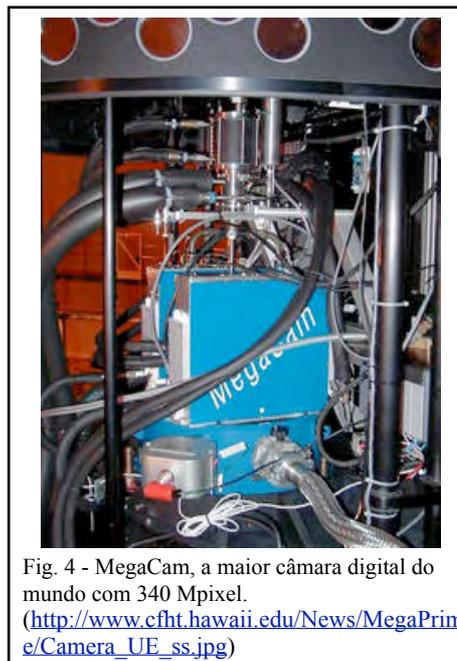


Fig. 4 - MegaCam, a maior câmara digital do mundo com 340 Mpixel.
(http://www.cfht.hawaii.edu/News/MegaPrime/Camera_UE_ss.jpg)

Das Estrelas aos Quarks

Macro-Cosmos: telescópios

Introdução

Galileu (1564-1642)

Em Maio de 1609 Galileu recebe uma carta do seu amigo Paolo Sarpi em que descreve a luneta (inventada por um tal Hans Lippershey de Amsterdão) apresentada por um holandês em Veneza. Imediatamente conseguiu reproduzir o aparelho descrito fazendo a sua primeira luneta com uma ampliação de cerca de 3X. Com o seu espírito inventivo Galileu melhorou o desenho da luneta e, em Agosto de 1609, apresenta ao Senado Veneziano uma versão muito melhorada com uma ampliação de cerca de 30X e que mostrava as imagens direitas (tinha inventado a luneta terrestre). Até ao fim desse ano observou montanhas na Lua, que a Via Láctea é formada por inúmeras estrelas e, no início de 1610, descobriu quatro luas de Júpiter. (⁸). Foi assim que se deu início à Astronomia moderna.

Refrativos e reflectivos

Os telescópios desenvolvidos por Galileu eram construídos com lentes de vidro (refrativos). O principal defeito destes era as acentuadas aberrações que tinham. Principalmente aberração cromática (a distância focal varia para diferentes comprimentos de onda) e aberração esférica (a distância focal é diferente para raios de luz que entrem perto do eixo da lente ou mais afastados desse eixo). A ideia de construir a objectiva do telescópio com um espelho parabólico surgiu pouco depois pois prometia uma grande redução daquelas aberrações (reflectivos). Após várias tentativas por parte de várias pessoas Newton conseguiu construir o primeiro modelo prático em 1668 e que desde então tem o seu nome (Telescópio de Newton).

Nos séculos seguintes a tecnologia dos telescópios evoluiu lentamente sem grande vantagem para qualquer dos dois tipos principais. Os telescópios de lentes, ou refrativos, tiveram um impulso de qualidade em 1733 com a invenção da lente acromática, mas as dificuldades de construção de lentes de diâmetro cada vez maior e com grande uniformidade limitaram a sua expansão. O maior telescópio refrativo construído foi o da Exposição Universal de Paris em 1900, a sua objectiva tinha uma lente com 1,25 m de diâmetro com uma distância focal de 57 m (fig. 5). Estava montado numa estrutura fixa e dispunha de um espelho de 2m de diâmetro (siderostato) que re-direccionava a luz de qualquer parte do céu para a objectiva. O grande impulsionador deste projecto foi François Deloncle (membro da Chambre des Députés). Como foi construído expressamente para ser exibido na Exposição Universal não houve preocupação de o poder instalar permanen-

⁷ <http://www.cfht.hawaii.edu/Instruments/Imaging/MegaPrime/>

⁸ http://pt.wikipedia.org/wiki/Galileu_Galilei

temente para efectuar observações científicas pelo que, depois do fim da exposição, foi desmontado e só as lentes e o siderostato foram guardadas no Observatoire de Paris-Meudon ⁽⁹⁾. O maior telescópio refractivo operacional é o do Yerkes Observatory (WI, USA) com uma objectiva de 40 polegadas (102 cm) instalado em 1897 e referido como o “41 inch” para o distinguir do outro telescópio do observatório com 40 polegadas mas reflectivo (fig. 6).

Os telescópios reflectivos tiveram um desenvolvimento paralelo. Apesar das grandes vantagens ópticas em relação aos telescópios reflectivos enfrentavam os seus próprios problemas tecnológicos sendo o mais importante a qualidade do espelho primário. Ao longo do Séc. XVIII foi-se melhorando a capacidade de produzir os espelhos parabólicos em dimensões cada vez maiores, mas a quali-

dade da superfície reflectora era muito má, oxidando com rapidez. No Séc. XIX a durabilidade do espelho foi melhorada pela introdução de espelhos de vidro com um revestimento de prata (a que se sucederiam os revestimentos de alumínio no Séc. XX). No fim do Séc. XIX, quando foi instalado o telescópio refractivo de Yerkes os maior telescópios reflectivo tinham cerca de 1,22 m (48 polegadas) e no início do Séc. XX entraram em funcionamento telescópios com 1,524 m (60 polegadas) em Hale e Harvard ⁽¹⁰⁾. O desenvolvimento dos telescópios refrativos parou nesta altura pois as grandes melhorias introduzidas nos espelhos pelos revestimentos metálicos permitiu ao desenho reflectivo aumentar drasticamente a sua dimensão permitindo maior resolução e luminosidade. Este desenvolvimento culminou no telescópios do Observatório Hale (no monte Palomar, USA, 1948) com 5,08 m de diâmetro que foi o maior telescópio em funcionamento durante cerca de 30 anos e permitiu efectuar observações únicas como as de Edwin Hubble que conduziram à sua hipótese do Universo em expansão ⁽¹¹⁾.

Até meados do Séc. XIX as observações astronómicas eram registadas manualmente (incluindo desenhos), estas eram naturalmente morosas e de precisão limitada. A utilização da fotografia em chapas húmidas de colódio, e posteriormente em chapas secas (ainda usadas actualmente), permitiu descobrir um incontável número de novas estrelas para além das visíveis a olho nu e melhorar a qualidade das observações de várias ordens de grandeza. Foram estas melhorias que incentivaram a criação de telescópios cada vez maiores e mais potentes que culminariam no de Yerkes (1897) e no de Hale (Palomar, 1948).

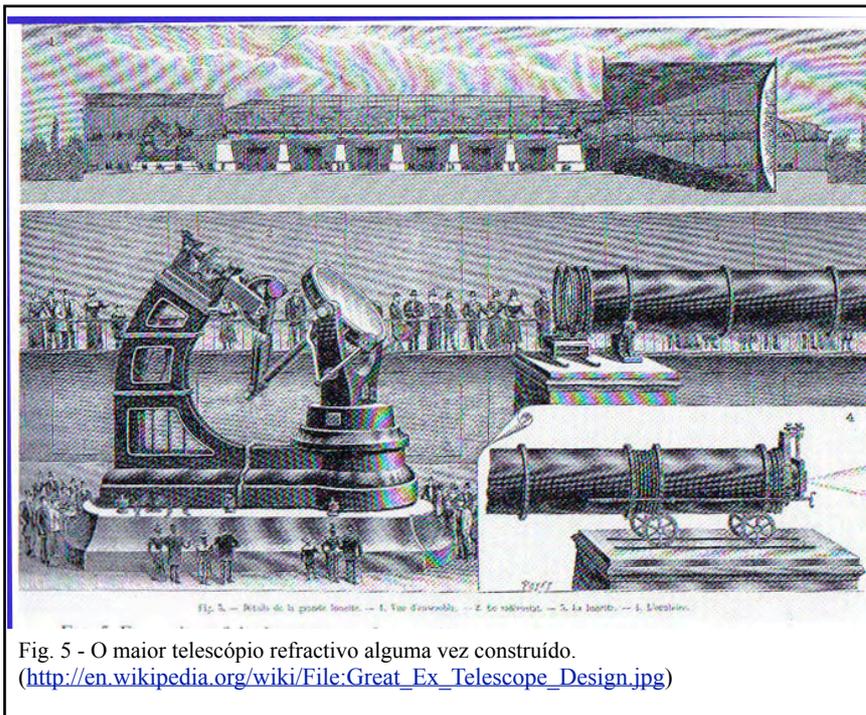


Fig. 5 - O maior telescópio refractivo alguma vez construído.
(http://en.wikipedia.org/wiki/File:Great_Ex_Telescope_Design.jpg)



Fig. 6 - O telescópio “41 inch” do observatório Yerkes.
(http://en.wikipedia.org/wiki/File:Yerkes_40_inch_Refractor_Telescope-2006.jpg)

⁹ http://en.wikipedia.org/wiki/Great_Paris_Exhibition_Telescope_of_1900

¹⁰ http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_largest_optical_telescopes_historically

¹¹ http://en.wikipedia.org/wiki/Edwin_Hubble

Telescópios actuais

Em operação

Na segunda metade do Séc. XX a construção de maiores telescópios enfrentava dificuldades de carácter mecânico (as deformações do espelho devido ao seu próprio peso quando este é movimentado) e óptico (a atmosfera terrestre introduz deformações (o cintilar das estrelas) que limitam a utilidade de telescópios com muito grande resolução). Estas limitações só seriam ultrapassadas com o desenvolvimento dos computadores que permitiram desenvolver novos materiais e modos de construção tornando possível telescópios com espelhos inteiros de 8,4 m (LBT - Large Binocular Telescope, AZ, USA, 2005/6)⁽¹²⁾ e a criação de uma nova classe de telescópios com espelhos segmentados. O primeiro exemplo deste novo tipo foi o telescópio MMT (Multiple Mirror Telescope, AZ, USA, 1979)⁽¹³⁾ com 6 espelhos de 1,8 m de diâmetro, o que o tornavam equivalente a um de 4,5 m. Posteriormente adoptou-se a forma hexagonal para os espelhos individuais e o primeiro deste tipo foi o telescópio Keck-1 com um diâmetro equivalente de 10 m (Mauna Kea, HI, USA, 1993)⁽¹⁴⁾. Embora fosse, teoricamente, possível alinhar todos os espelhos individuais destes telescópios de modo a todos formarem uma imagem única no mesmo ponto, essa tarefa é tecnologicamente impossível (pelo menos actualmente) pelo que estes aparelhos só foram construídos graças à segunda contribuição dos computadores que foi a de controlar em tempo real a orientação de cada espelho de modo a se manterem sempre alinhados. Esta técnica - óptica adaptável - também permitiu diminuir drasticamente os efeitos nocivos da atmosfera compensando essas distorções com deformações no espelho que as compensam. Esta técnica está generalizada e todos os telescópios modernos (e os planeados) a utilizam.

Existem diversas listas dos maiores telescópios do mundo em actividade (ver por exemplo <http://astro.nineplanets.org/bigeyes.html> ou <http://en.wikipedia.org/wiki/Telescopes>) sendo de salientar em cada categoria os seguintes:

- Refrativos: Yerkes Observatory (1,02 m, WI, USA)
- Reflectivos sólidos: Hale Telescope (5,08 m, CA, USA), BTA-6 (6 m, Caucaso, RU), LBT (2×8,4 m, AZ, USA)
- Reflectivos segmentados: Keck 1 e 2 (10m, HI, USA), GTC (10,4 m, Canarias SP), VLT (com interferometria) (4 x 8,2 m, ESO, Chile).

Há um telescópio que tem de ser colocado numa categoria à parte embora não seja muito grande, Trata-se do Hubble (Hubble Space Telescope. NASA-ESA). Trata-se de um telescópio de espelho simples com 2,4 m de diâmetro que se encontra em órbita terrestre a 559 km de altura⁽¹⁵⁾. Foi lançado em 24 de Abril de 1990 e tem-nos oferecido imagens do universo de uma clareza e detalhe que ainda nos deixam surpreendidos (fig. 7). Actualmente alguns dos telescópios terrestres com óptica adaptável já conseguem imagens tão boas como as suas mas em breve se irá abrir um novo capítulo da observação espacial com o lançamento, previsto para 2014, do James Webb Space Telescope⁽¹⁶⁾ que irá observar o espaço principalmente no infravermelho. Este telescópio está a ser desenvolvido conjuntamente pela NASA e ESA e irá orbitar o ponto de Lagrange L2 em relação à Terra e Sol⁽¹⁷⁾.

Óptica Adaptável

O princípio de funcionamento de um sistema de óptica adaptável é muito simples. (fig. 8,¹⁸) No campo de visão do telescópio é colocado um objecto pontual (uma estrela distante ou uma estrela artificial criada a partir do

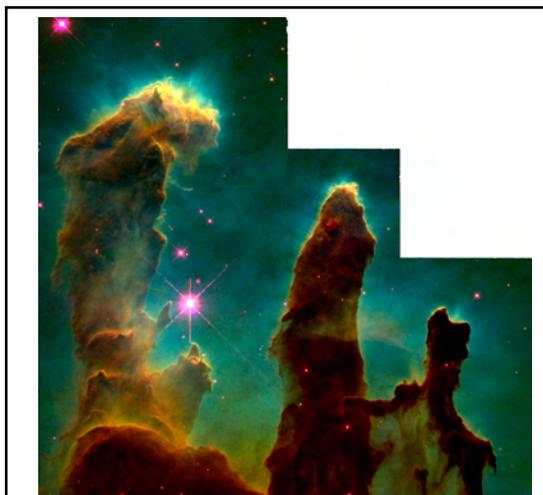


Fig. 7 - Os Pilares da Criação, pilares de gás na nebulosa da Águia, NGC 6611 (J. Hester and P. Scowen (Arizona State University). (<http://hubblesite.org/gallery/album/nebula/pr1995044a/>)

¹² <http://medusa.as.arizona.edu/lbto/>

¹³ <http://www.mmt.org/>

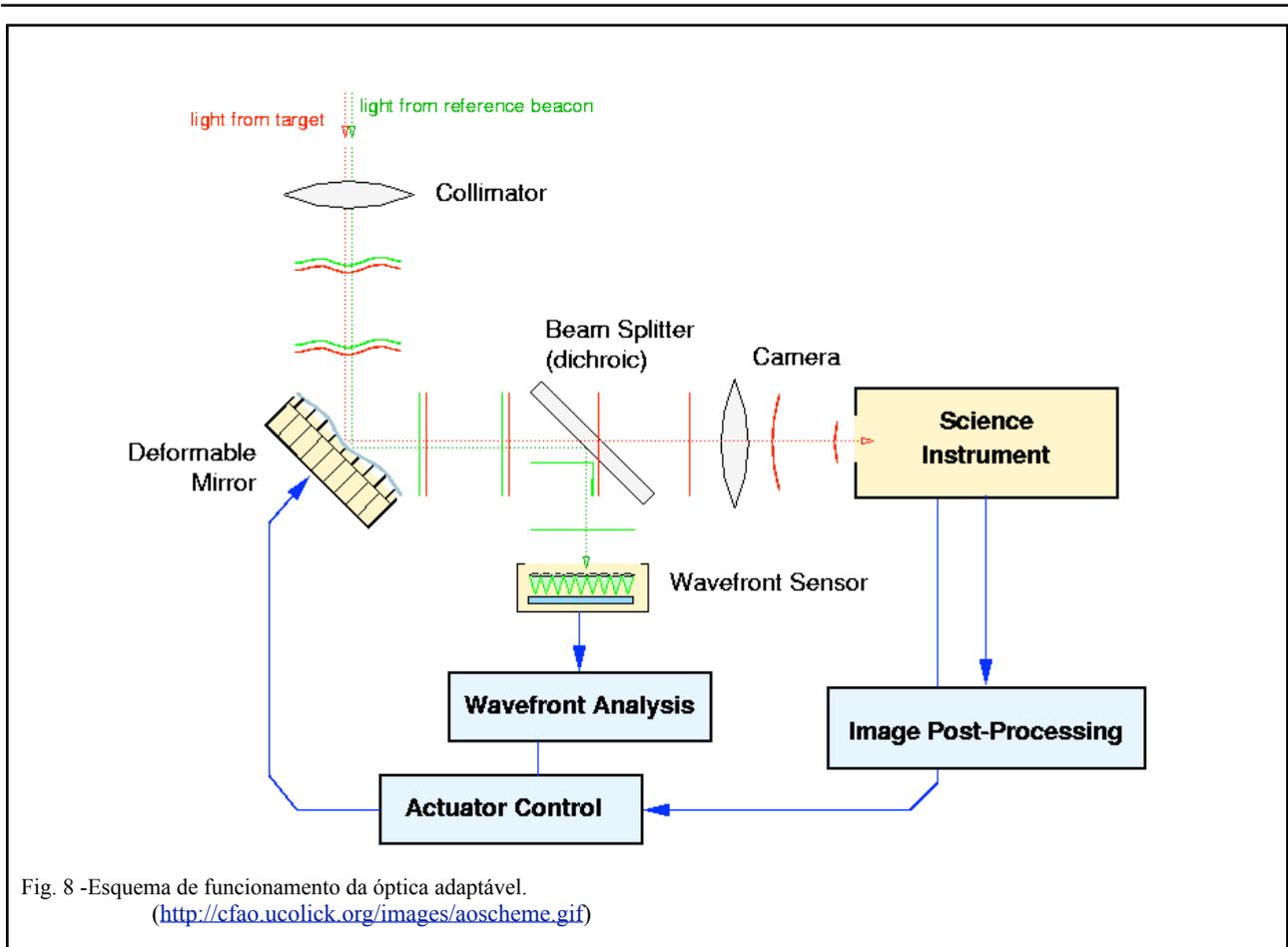
¹⁴ <http://www.keckobservatory.org/>

¹⁵ <http://hubblesite.org/>

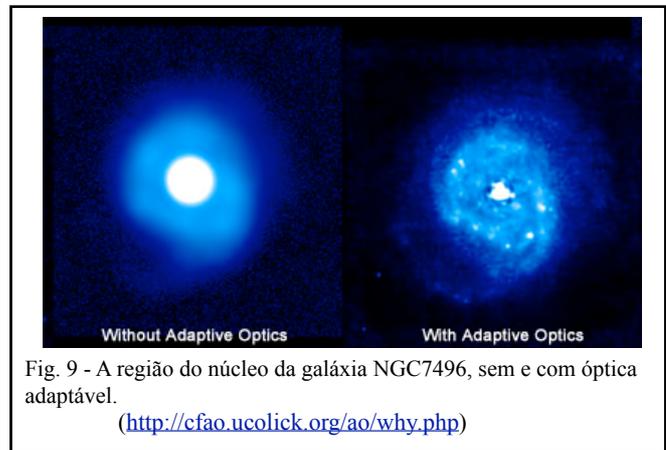
¹⁶ <http://www.jwst.nasa.gov>

¹⁷ Para saber o que são os pontos de Lagrange ver <http://www.jwst.nasa.gov/orbit.html>

¹⁸ <http://cfao.ucolick.org/ao/how.php>



solo). A frente de onda da luz proveniente deste objecto, depois de passar pelo sistema óptico fica distorcida devido à turbulência na atmosfera e/ou às imperfeições do próprio sistema óptico. Esta frente de onda, do objecto de referência, é detectada e analisada por um aparelho que quantifica a distorção que a afecta (“Wavefront Analysis”) por comparação com a imagem pontual esperada e essa informação é utilizada para controlar a forma do espelho de modo a anular a distorção (“Actuator control”). Deste modo a imagem que chega ao instrumento científico já não apresentará distorções apreciáveis. Se se estiver a observar um objecto conhecido a informação do próprio instrumento pode ser também utilizada para melhorar a supressão da distorção. Para que funcione de modo aceitável este sistema tem que compensar as mudanças na frente de onda quando ainda são muito pequenas, isto significa que, para a turbulência atmosférica, a forma do espelho tem que ser actualizada várias centenas de vezes por segundo. Esta técnica ainda tem algumas limitações (quer físicas, quer tecnológicas) mas, nos comprimentos de onda em que se pode usar, produz imagens de qualidade equivalente às do Hubble Space telescope (fig. 9).



Futuros Telescópios

O que está planeado para os futuros instrumentos? O mesmo que acontece sempre que há um grande salto qualitativo - mais e maior! ou seja, agora que é possível corrigir os efeitos da atmosfera (pelo menos em parte do espectro) e variações instrumentais a ideia é criar instrumentos com aberturas grandes que permitam atingir sensibilidades maiores. Não é, portanto, de admirar que as próximas máquinas para observar o céu se chamem:

ELTs (Extremely large telescopes - Telescópios extremamente grandes)

Há três novos telescópios que estão na fase de planeamento e desenvolvimento, todos feitos a partir de espelhos mais pequenos, e com aberturas maiores que 20 m.

Por ordem de tamanho há o GMT - Giant Magellan Telescope cujo espelho principal será formado por 7 espelhos de 8,4 m e terá uma resolução equivalente a um espelho de 24,5 m e irá ser instalado em Las Campanas, Chile, estando previsto entrar em funcionamento em 2018 ⁽¹⁹⁾.

Com uma resolução equivalente a um espelho de 30 m, o TMT - Thirty Meter Telescope a instalar em Mauna Kea, Hawaii, terá um espelho primário formado por 492 segmentos de 1,45 m cada ⁽²⁰⁾. Encontra-se ainda em fase de planeamento e angariação de fundos.

Finalmente “last but not least” a ESO (Organização Europeia para a Observação Astronómica) planeia construir um telescópio com 1000 segmentos hexagonais de 1,4 m cada, que formarão um espelho equivalente de 42 m (a área de recolha de luz é de ~1300 m²) — o EELT (Europe Extremely Large Telescope—fig. 10) ⁽²¹⁾. A decisão sobre a sua localização e a configuração final deve ser tomada até 2010, estando previsto poder entrar em funcionamento ainda em 2016.

Outros conceitos

Naturalmente que um grande telescópio é muito impressionante mas há outros em desenvolvimento com características únicas. O novo telescópio espacial JWST (James Webb Space Telescope) que irá ser colocado no ponto de Lagrange L2 a ~1,5 Mkm da Terra e irá observar principalmente no infravermelho (fig.11). Terá um espelho equivalente de 6,5 m formado por 18 segmentos hexagonais que serão lançados dentro de uma nave e que irá abrir como uma flor uma vez na órbita de destino ⁽²²⁾.

O LSST (Large Synoptic Survey Telescope) é um telescópio de espelho simples, com 8,4m, mas que vai ter associado um sensor com 3,2 Gpixel ⁽²³⁾. Irá fazer varrimentos rápidos de todo o céu o que permitirá fazer um mapa 3D do Universo e detectar objectos que se movam ou mudem de aspecto com o tempo. Permite fazer um filme completando um fotograma de todo o céu a cada 3 dias.

Para quem achar que um telescópio de 42 m é pequeno que tal um com 1 km de diâmetro? É o



Fig. 10 - European Extremely Large Telescope (EELT).
(<http://www.eso.org/public/portugal/astronomy/teles-instr/images/e-elt10.jpg>)



Fig. 11 - James Webb Space Telescope (JWST).
(<http://www.jwst.nasa.gov/images/people.jpg>)

Terá um espelho equivalente de 6,5 m formado por 18 segmentos hexagonais que serão lançados dentro de uma nave e que irá abrir como uma flor uma vez na órbita de destino ⁽²²⁾.

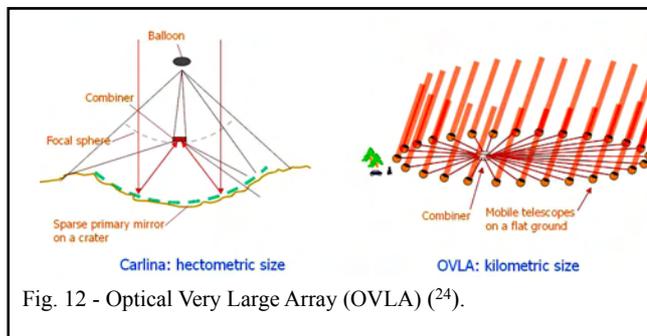


Fig. 12 - Optical Very Large Array (OVLA) ⁽²⁴⁾.

¹⁹ http://www.gmto.org/tech_overview

²⁰ <http://www.tmt.org/>

²¹ <http://www.eso.org/public/portugal/astronomy/teles-instr/e-elt.html>

²² <http://www.jwst.nasa.gov/>

²³ <http://www.lsst.org/lsst>

que está a ser proposto com o OVLA (Optical Very Large Array). Trata-se de uma proposta de construção de uma rede de telescópios cujas imagens são combinadas por interferometria (como no caso do VLT-ESO no Chile). Ainda não se passou da fase de conceito teórico ^(24,25)(fig.12).

Nano-Cosmos: nanotecnologia

O termo nanotecnologia abarca uma diversidade tão grande de fenómenos e objectos físicos, químicos, mecânicos, etc., que tem sido muito difícil dar uma definição concisa do que representa mas talvez a seguinte possa dar uma ideia do que se trata ⁽²⁶⁾: “A nanotecnologia é o estudo, desenho, criação, síntese, manipulação e aplicação de materiais, aparelhos e sistemas funcionais através do controlo da matéria à nano-escala, e a exploração de fenómenos e propriedades da matéria à nano-escala”.

A escala a que se dedica a nanotecnologia vai desde o nanometro (1 nm = 10⁻⁹ m) até ~100 nanometros e há diversas razões para que seja nesta escala que grandes desenvolvimentos tecnológicos estão a ocorrer ⁽²⁷⁾:

- As propriedades ondulatórias dos electrões na matéria são influenciadas por variações à escala nanométrica. Ao formar materiais com grãos nanométricos é possível fazer variar algumas das propriedades dos materiais (por exemplo, temperatura de fusão, magnetização, conductividade) sem mudar a composição química,
- Os blocos fundamentais nos sistemas biológicos têm dimensões nanométricas (proteínas, DNA), a nanotecnologia poderá permitir-nos colocar componentes artificiais dentro das células (com fins terapêuticos) ou fazer novos materiais usando métodos de replicação nos seres vivos,
- Os componentes nanométricos apresentam uma grande relação superfície/volume tornando-os ideais para fabricar materiais compósitos, catalisadores, sistemas de transporte de drogas ou armazenamento de energia,
- A dimensão dos componentes nanométricos é comparável aos comprimentos de onda da luz tornando possível fabricar materiais com propriedades opto-electrónicas invulgares e interessantes.
- A dimensão finita das componentes nanométricas em relação à escala molecular aumenta a importância relativa da tensão superficial e de efeitos electromagnéticos locais, o que torna os nanomateriais mais duros e menos frágeis.

As possíveis áreas de aplicação de nanotecnologia são vastas e diversificadas. A seguir referem-se alguns exemplos de tecnologias que já são usadas em produtos comerciais, para mais informação sobre esta área pode-se consultar diversos sítios a ela dedicados como, por exemplo, Nanotechnology Now (7th Wave Inc. <http://www.nanotech-now.com/>) ou Understanding Nano (Hawk's Perch Technical Writing, <http://www.understandingnano.com/>). Um sítio com um directório extenso de empresas e tipos de aplicações é o AzoNano.com (<http://www.azonano.com/>).

- Alguns compósitos plásticos incorporando nanopartículas já são usados nos pára-choques de vários automóveis, são resistentes à corrosão e a riscos e reduzem o peso beneficiando o consumo.
- Nanocristais: já se mostrou que nanocristais de vários metais mostram durezas 100 % a 300% maiores que os mesmos materiais na forma normal, os Qdot®Nanocrystal (REFA) são nanopartículas de semicondutores que fluorescem com comprimentos de onda que dependem do seu tamanho, podendo ser utilizados como marcadores fluorescentes em processos biológicos.
- Tecidos repelentes de nódoas já são produzidos com fios cobertos de uma camada de nano-fibras com 10~100 nm.
- Protectores solares modernos já incorporam nanopartículas que absorvem a radiação UV com muito maior eficiência, além disso são mais fáceis de espalhar no corpo e são, geralmente, incolores.
- Inúmeras outras aplicações beneficiam da nanotecnologia: coberturas com nanocompósitos aumentam a resistência das superfícies; nanotubos de carbono são ainda mais resistentes que a fibra de carbono; nanocatalisadores além de permitirem aos automóveis ser mais limpos, permitem, por exemplo, melhorar drasticamente a liquefacção do carvão e sua transformação em gás para servir de combustível com um impacto muito menor para o ambiente, etc. etc... ⁽²⁸⁾

²⁴ O. Lardière, J. Dejonghe, L. Arnold and A. Labeurie, *The Optical Very Large Array project (OVLA): a concept for kilometric ground-based hypertelescopes*, Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège, Vol. 74, 5-6, 2005 (http://www.chimie.ucl.ac.be/SRSL/newSRSL/modules/FCKeditor/upload/File/74_5_6/Lardiere_OVLA%20pp%20505-509.pdf)

²⁵ Ghasempour et all, *Gazeta de Física* 32 N° 2/3 (2009) 2

²⁶ http://www.euroresidentes.com/futuro/nanotecnologia/nanotecnologia_que_es.htm

²⁷ <http://www.lanl.gov/mst/nano/definition.html>

²⁸ <http://www.nanotech-now.com/current-uses.htm>, <http://www.azonano.com/applications.asp>

Micro-Cosmos: aceleradores (LHC)

Introdução

A primeira utilização de partículas nucleares aceleradas foi na experiência em que Geiger e Marsden, sob a direcção de Rutherford, no início do Séc. XX, utilizaram partículas alfa (α) para estudar a estrutura da matéria chegando à conclusão que os átomos tinham a quase totalidade da sua massa concentrada num volume muito pequeno quando comparado com a sua dimensão, o núcleo (²⁹). Esta teoria contradizia a chamada “teoria do bolo de passas” de Thomson em que os átomos seriam formada por uma esfera homogénea de carga positiva com os electrões negativos, e pontuais, espalhados uniformemente por essa esfera. As partículas α usadas nestas experiências foram obtidas através do decaimento radioactivo do rádio (Ra) e possuíam uma energia de 5,8 MeV (³⁰). Uma fonte radioactiva não é um acelerador muito eficaz pois emite as partículas em todas as direcções e sem grande possibilidade de as controlar.

Com a confirmação deste modelo atómico o estudo do núcleo dos átomos tornou-se uma disciplina autónoma pois veio a exigir técnicas específicas e que manipulavam energias muito maiores (à escala atómica, claro!). Rapidamente se compreendeu que para se chegar ao núcleo e perceber as suas propriedades seria preciso dispor de partículas com energias elevadas e em grandes quantidades. O primeiro acelerador de partículas artificial foi construído por Cockcroft e Walton no Cavendish Laboratory em Cambridge (UK) em 1930 (fig. 14). Acelerava protões até uma energia de 800 keV e uma das primeiras experiências foi a observação da desintegração do lítio (Li) por protões dando origem à emissão de duas partículas α (³¹).

Desenvolvido simultaneamente por Van de Graaff um outro tipo de acelerador permitia acumular carga numa esfera metálica isolada por meio de uma correia de material isolante que transportava as cargas eléctricas de uma fonte a uma tensão pouco elevada para essa esfera. Em 1931 já conseguia atingir valores de 750 kV na esfera (³⁰) (fig. 15).

A dificuldade em manter diferenças de potencial elevadas levou vários cientistas a propor a aceleração das partículas utilizando diferenças de potencial mais baixas mas mais vezes. O princípio foi descrito por um engenheiro Norueguês, Rolf Widerøe, e aplicado por Sloan, em Berkeley (USA) (³⁰) que construiu um dispo-

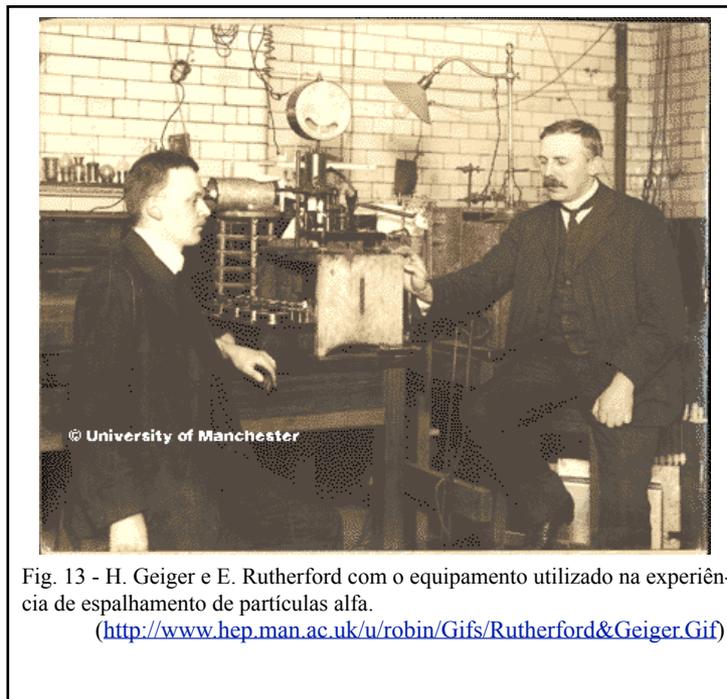


Fig. 13 - H. Geiger e E. Rutherford com o equipamento utilizado na experiência de espalhamento de partículas alfa.

(<http://www.hep.man.ac.uk/u/robin/Gifs/Rutherford&Geiger.Gif>)

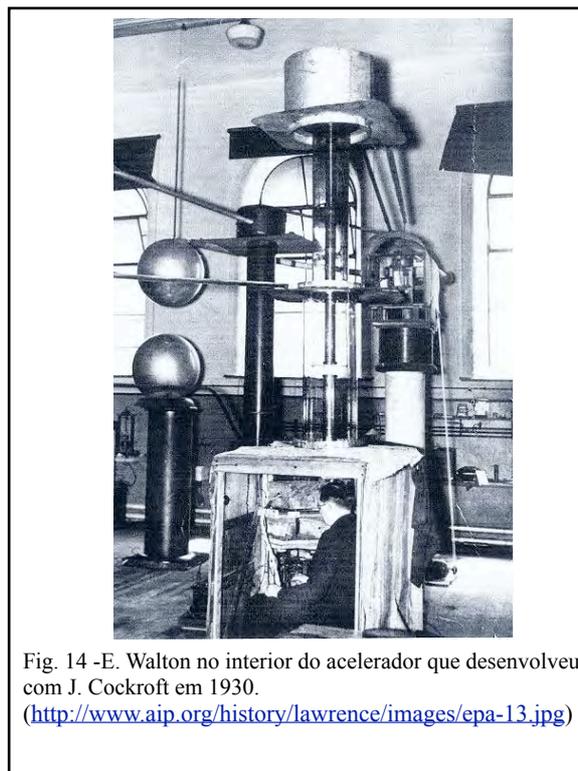


Fig. 14 - E. Walton no interior do acelerador que desenvolveu com J. Cockcroft em 1930.

(<http://www.aip.org/history/lawrence/images/epa-13.jpg>)

²⁹ Ver, por exemplo, a tradução do artigo original de Rutherford de 1911, *Fundamentos da Física Nuclear - III Volume*, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 2004, pg.169. também lá se encontram os artigos originais de Cockcroft e Walton (pg. 35) e de Lawrence e Livingstone (pg. 141) descrevendo o uso dos primeiros aceleradores.

³⁰ $1\text{eV}=1,602 \times 10^{-19}\text{ J}$

³¹ <http://www.aip.org/history/lawrence/epa.htm>

sitivo linear, em 1931, que acelerava iões de mercúrio (Hg) até energias de 1 MeV. Este dispositivo passou a ser conhecido por LINAC (LINear ACcelerator) pois as partículas percorrem uma trajectória rectilínea enquanto são aceleradas a intervalos regulares. Estes aceleradores levantavam grandes dificuldades de construção quando se pretendia acelerar partículas mais leves (prótons ou α s) pois exigiam distâncias muito grandes à medida que a sua energia aumentava. Por este motivo Ernest Lawrence, no mesmo laboratório, ao mesmo tempo que Sloan, prosseguiu o desenvolvimento da sua ideia de enviar as partículas numa trajectória circular (usando campos magnéticos) obtendo a aceleração destas por meio de uma única diferença de potencial por onde as partículas passavam periodicamente — o ciclotrão ⁽³²⁾. Usando o facto de a frequência de rotação de partículas carregadas devido a um campo magnético não depender do raio da órbita podia usar um único campo eléctrico alternado para aumentar a energia das partículas. Com o aumento de energia o raio da sua órbita aumentava mas a duração de cada rotação era igual, o que mantinha as partículas sincronizadas com o campo eléctrico oscilatório. As partículas iriam percorrer uma trajectória em espiral a partir do centro do dispositivo (fig. 16). A vantagem deste tipo de acelerador é o facto de serem bastante compactos, o protótipo construído por Lawrence, no início de 1931, tinha um diâmetro de 4,5 polegadas (~11,5 cm) (fig. 17) e, a partir de um potencial de 1800 V, acelerava prótons até cerca de 80 000 eV. Uns meses mais tarde um ciclotrão com 11 polegadas (~28 cm) acelerava prótons até 1 MeV ⁽³³⁾.

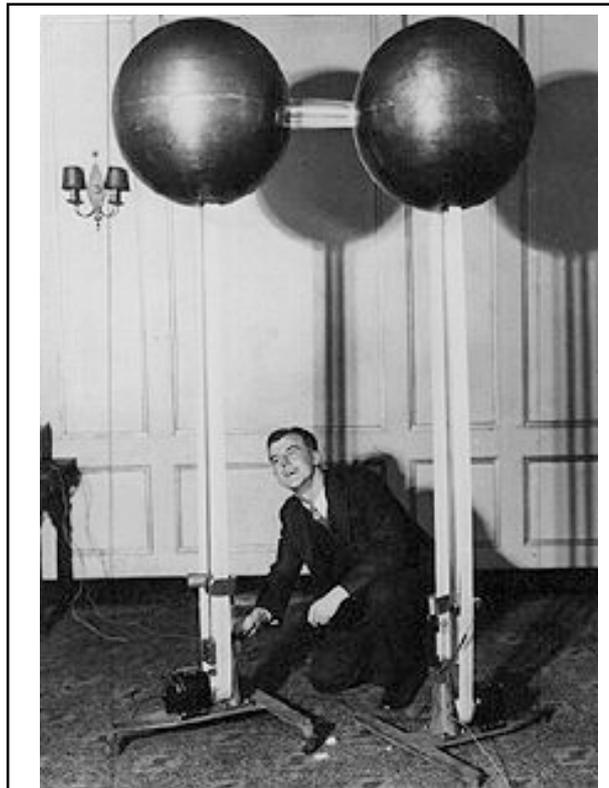


Fig. 15 - Van de Graaff com o primeiro acelerador que construiu, 1931. (http://people.clarkson.edu/~ekatz/scientists/graaff_generator_1.jpg)

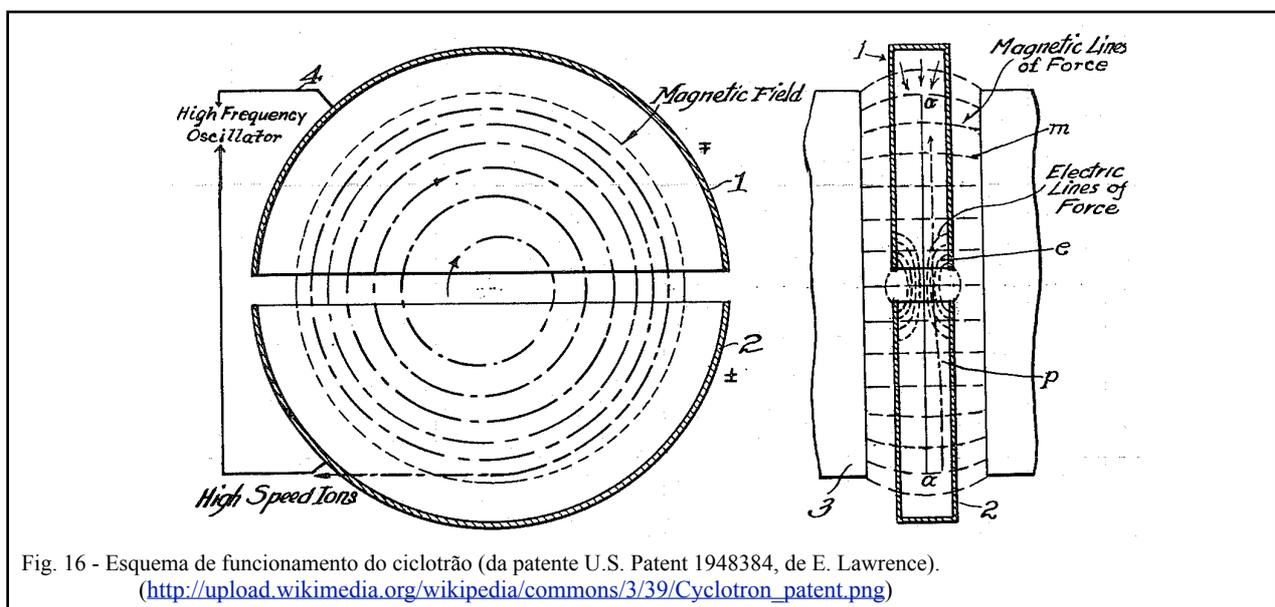


Fig. 16 - Esquema de funcionamento do ciclotrão (da patente U.S. Patent 1948384, de E. Lawrence). (http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/39/Cyclotron_patent.png)

³² <http://www.aip.org/history/lawrence/>

³³ Quando o ciclotrão de 11" conseguiu acelerar prótons até 1,1 MeV, em 3 de Agosto de 1931, Lawrence não se encontrava em Berkeley e Livingstone pediu que lhe enviassem um telegrama cujo texto dizia "Dr. Livingstone has asked me to advise you that he has obtained 1,100,000 volt protons. He also suggested that I add 'Whoopee!'"

A energia máxima atingida num ciclotrão depende do tamanho dos magnetes e da intensidade do campo magnético por eles criado (enquanto os efeitos relativistas não forem importantes). Assim a limitação prática na construção de ciclotrões está ligada, principalmente, ao custo dos magnetes. A invenção do sincrotrão (também chamado sincro-ciclotrão) permitiu ultrapassar essa limitação e tornar os aceleradores de energia muito elevada mais baratos. O sincrotrão funciona com o mesmo princípio do LINAC só que as partículas percorrem uma trajectória (quase) circular fechada em vez de linear. As partículas são mantidas no acelerador por meio de magnetes, que desviam a sua trajectória, e são aceleradas quando passam por uma (ou mais) cavidades de ressonância electromagnética (fig. 18, ³⁴). Actualmente todos os aceleradores de partículas de alta energia são deste tipo.

Qualquer deste tipo de aceleradores são usados actualmente: Cockroft & Walton e Van de Graaff permitem obter energias de protões até à dezena de MeV e são usados em laboratórios pequenos ou como injectores para aceleradores maiores; O Ciclotrão permite atingir energias até alguns Milhares de MeV (GeV) e é muito usado em laboratórios para estudos de energia intermédia ou como fontes de neutrões por espalação (spallation no inglês) de núcleos pesados (normalmente U ou Ta) (³⁵). Os sincrotrões são as máquinas mais vulgares em todos os laboratórios de altas energias, são usados não só para estudos fundamentais de partículas elementares mas também em estudos de física nuclear por meio de colisões de iões pesados.

Cern - LHC

Os aceleradores de partículas, usados pelos cientistas para sondar os componentes mais pequenas da matéria, são autênticos “caldeirões de alquimia tecnológica”. Para estudar detalhes cada vez mais pequenos da matéria é necessário cada vez mais energia, tecnologia e conhecimento. Desde que começaram a ser usados com regularidade os aceleradores têm crescido continuamente em energia, intensidade e volume de informação produzida, culminando presentemente no LHC (Large Hadron Collider, CERN, Suíça) que é a maior e mais complexa máquina alguma vez construída na nossa civilização (³⁶). Vejamos alguns factos sobre este acelerador (fig. 19):

1. Com uma circunferência de 26 659 m é a máquina de maior dimensão do mundo. Tem 9 300 magnetes que são arrefecidos até 1,9 K (-271,3°C) por um sistema de refrigeração que, só a oitava parte dele, é o mais potente frigorífico do mundo.

2. Há dois feixes de $\sim 3,23 \times 10^{14}$ protões que se movem em sentidos opostos. Na energia máxima (7 TeV) deslocam-se a 99,9999991 % da velocidade da luz com uma energia armazenada de 362 MJ (igual à energia cinética de um TGV, 400 toneladas, a 150 km h⁻¹). Cada protão dá 11 245 voltas por segundo ao acelerador e nos pontos de cruzamento dos feixes ocorrem cerca de 600×10^6 colisões por segundo.

3. Os protões circulam num tubo em vácuo onde a pressão é 10^{-13} atm, 10 vezes menor que a pressão na Lua. É o local mais vazio do Sistema Solar!

4. Quando os protões colidem gera-se um plasma de partículas cuja temperatura é 100 000 vezes mais quente que no núcleo do Sol ($13,6 \times 10^6$ °C) mas movem-se num tubo que está arrefecido a -271,3°C (1,9 K), mais frio que o espaço sideral.

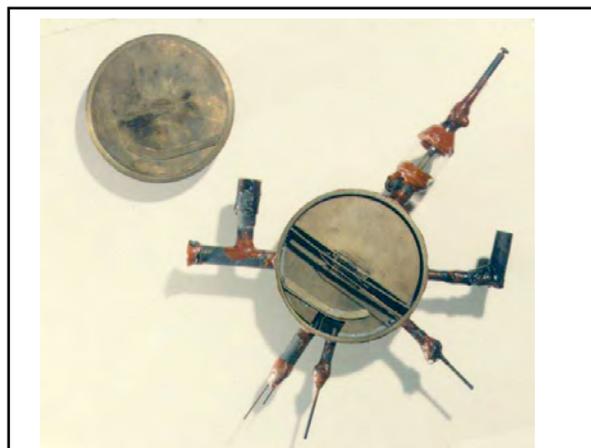


Fig. 17 - O primeiro ciclotrão de 4,5” construído por Lawrence e Livingston, 1931.

(<http://www.aip.org/history/lawrence/images/epa-20.jpg>)

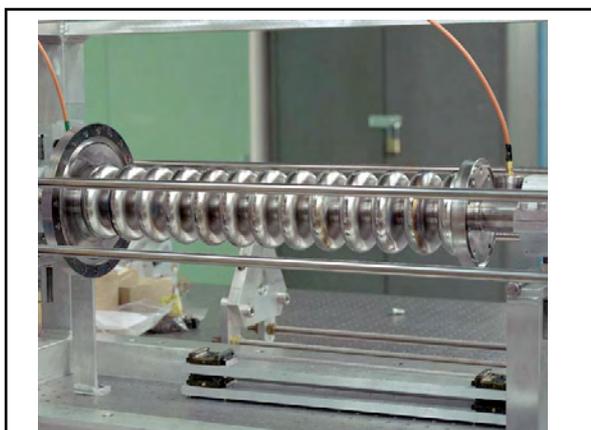


Fig. 18 - Cavidade de Ressonância de um LINAC.

(<http://agni.phys.iit.edu/~vpa/images/superconductor1.jpg>)

³⁴ <http://en.wikipedia.org/wiki/LINAC>

³⁵ ver, por exemplo, <http://www.isis.stfc.ac.uk/>

³⁶ <http://lhc.web.cern.ch/lhc/>, <http://public.web.cern.ch/public/en/LHC/LHC-en.html>, <http://lhc-machine-outreach.web.cern.ch/lhc-machine-outreach/>

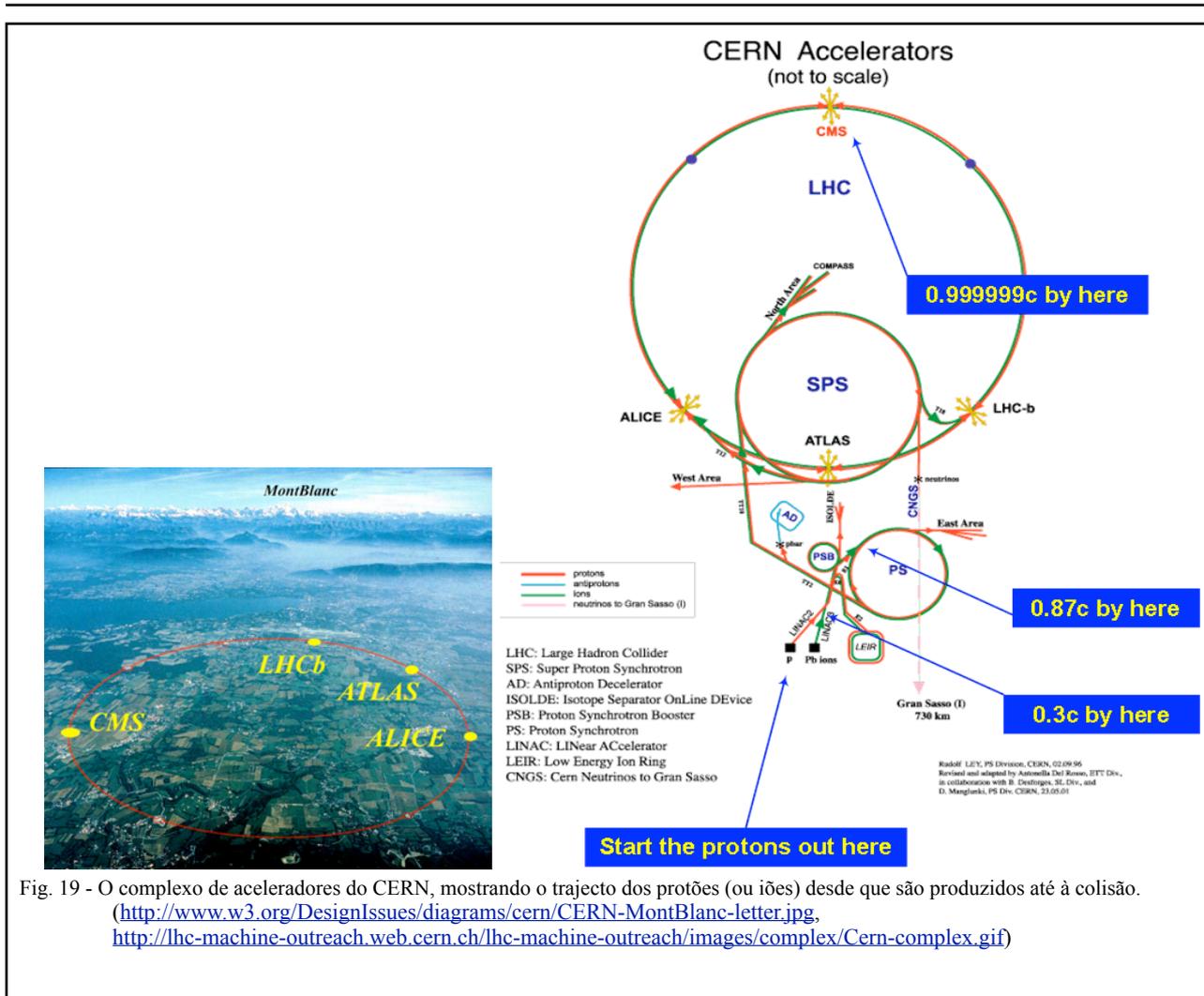


Fig. 19 - O complexo de aceleradores do CERN, mostrando o trajecto dos protões (ou iões) desde que são produzidos até à colisão.
<http://www.w3.org/DesignIssues/diagrams/cern/CERN-MontBlanc-letter.jpg>,
<http://lhc-machine-outreach.web.cern.ch/lhc-machine-outreach/images/complex/Cern-complex.gif>

5. Para observar, seleccionar e registar os resultados das 600 milhões de colisões por segundo os físicos construíram os maiores e mais sofisticados detectores do mundo permitindo localizar partículas com precisão micrométrica (fig. 20). ATLAS é um dos maiores e mais complexo instrumento científico alguma vez construído (25 m × 25 m × 46 m, ~7000 toneladas), mas não é o mais pesado, essa honra cabe a outro dos detectores deste acelerador, CMS, com ~12 500 toneladas. A quantidade de ferro usado neste detector é suficiente para construir duas torres Eiffel.

6. Os dados gerados em cada detector ocupam cerca de 100 000 DVD de dupla camada (9,4 GB) por ano (cerca de 1 PB/ano). Para armazenar e analisar esta quantidade astronómica de informação a comunidade científica criou uma rede distribuída de computação, GRID, formada por dezenas de milhares de computadores espalhados por todo o mundo.

Que novas tecnologias podemos esperar que surjam destas grandes máquinas e que sejam relevantes para todos nós? Como em quase todas as áreas científicas, prever a futura relevância de uma grande descoberta é muito difícil, podemos ter algumas opiniões fundamentadas mas sem qualquer garantia de sucesso.

Devido à grande quantidade de parcerias com a indústria o CERN mantém uma base de dados com informação de transferências para a indústria efectivamente realizadas (37) e de técnicas ou descobertas com potencial para serem aproveitadas (38). Alguns exemplos:

a. Novos detectores para Imagiologia de Raios-X: novos detectores, e electrónica, de fótons de Raios-X permitem obter imagens mais detalhadas e individualizar diferentes tipos de tecidos na Tomografia Computorizada (39).

b. PET para pequenos animais: a técnica de PET (Positron Emission Tomography) utiliza os positrões de isótopos radioactivos para determinar a posição dos radioisótopos inoculados no paciente (fig. 21). A vantagem desta técnica em relação à tomografia com Raios-X é que a dose absorvida pelos pacientes é menor e

37 http://technologytransfer.web.cern.ch/TechnologyTransfer/en/Successful_Transfers/Successful_Transfers.html

38 http://technologytransfer.web.cern.ch/TechnologyTransfer/en/Technologies/Available_Technologies.html

39 <http://technologytransfer.web.cern.ch/TechnologyTransfer/en/Applications/Interon.html>

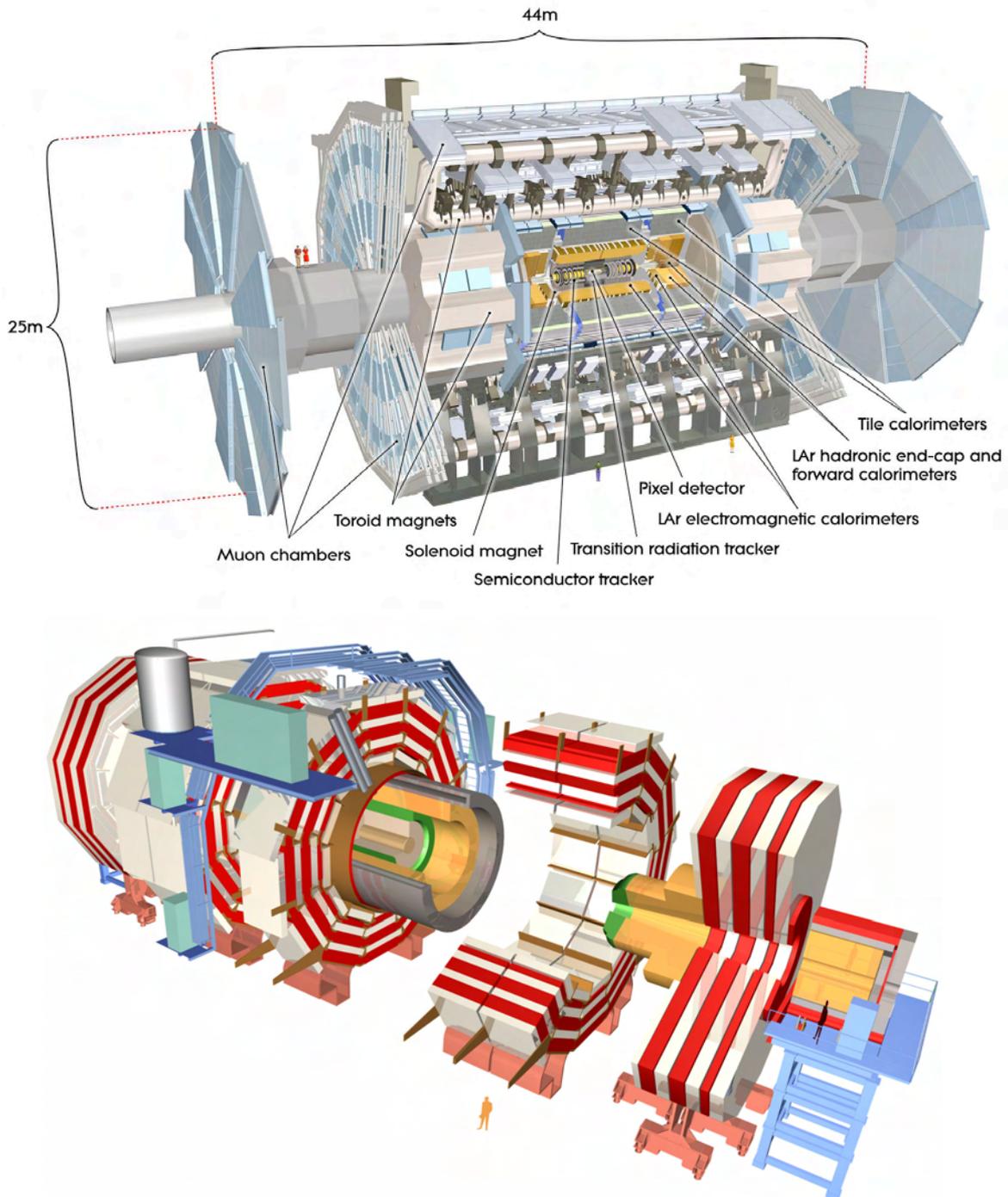


Fig. 20 - Os maiores detectores de partículas do mundo, notar as figuras humanas para mostrar a escala.
<http://atlas.ch/photos/full-detector-cgi.html>,
<http://cms.web.cern.ch/cms/Resources/Website/Media/Images/Detector/DetectorDrawings/CMSnc.jpg>

mais localizada (não é o corpo todo que é irradiado) e permite fazer observações em tempo real (por exemplo, PET tem sido utilizada em muitos estudos funcionais do cérebro para localizar as zonas cerebrais associadas a diversas funções como visão, fala, etc.). Esta técnica é muito cara e difícil de implementar devido à grande dimensão dos detectores que têm que envolver completamente o paciente. Detectores desenvolvidos no âmbito de CERN permitem obter uma resolução espacial e eficácia muito elevadas em aparelhos de pequenas dimensões, o que permite observar pequenos animais de laboratório, o que irá, por sua vez, permitir aos laboratórios farmacêuticos estudar em mais detalhe os efeitos e distribuição de possíveis fármacos antes de os testarem em humanos ⁽⁴⁰⁾.

⁴⁰ <http://technologytransfer.web.cern.ch/TechnologyTransfer/en/Applications/SmallAnimalPET.html>

c. Novos painéis solares que permitem uma recolha mais eficaz da energia solar da luz difusa (fig. 22) ⁽⁴¹⁾.

d. Novos isótopos produzidos em acelerador para tratamentos de cancro por braquiterapia: nesta técnica de tratamento pequenas cápsulas com um isótopo radioactivo são implantadas no tumor de modo que a dose de radioactividade é absorvida principalmente pelos tecidos cancerosos e os órgãos mais afastados não são afectados. Alguns novos isótopos, tais como o ¹⁸⁸Rh, ¹⁸⁶Rh, ¹⁶⁶Ho e ¹⁷⁷Lu, estão já a ser produzidos para este tipo de tratamentos ⁽⁴²⁾.

Para além das aplicações já existentes é de esperar que muitas outras surjam à medida que as técnicas desenvolvidas no novo acelerador se comecem a generalizar. Por exemplo, os grandes avanços de criogenia e de magnetes superconductores necessários para o funcionamento do LHC irão, mais tarde ou mais cedo, aparecer nos aparelhos de RMN usados pelos hospitais e centros de diagnóstico, tornando-os mais eficazes e mais detalhados com benefícios óbvios para o público em geral. Por outro lado o desenvolvimento e implementação da rede de computação (GRID) irá transformar, num futuro próximo, a maneira como usamos os nossos computadores pessoais, da mesma maneira que a “World Wide Web —WWW”⁽⁴³⁾ revolucionou a maneira como comunicamos e acedemos à informação.



Fig. 21 - PET de elevada resolução para pequenos animais. (http://technologytransfer.web.cern.ch/TechnologyTransfer/Objects/TT/technologies/SmallAnimalPET_small.jpg)

Fusão Nuclear (tokamak)

Introdução

As reacções de fusão nuclear são a fonte de energia das estrelas. A fusão de núcleos leves, criando um núcleo mais pesado e um neutrão, é um processo exotérmico podendo dar a origem a reacções auto-sustentadas. É o que sucede nas estrelas em que a força gravítica comprime o hidrogénio até uma densidade tal que a sua temperatura se eleva acima dos 100 milhões de graus permitindo a ocorrência de reacções de fusão entre os isótopos do hidrogénio. Nestas reacções formam-se novos elementos (T, He, Li, etc.) e, se a estrela tiver uma massa suficientemente grande (8-11 massas solares), à medida que o hidrogénio for acabando, começam a formar-se núcleos cada vez mais pesados até se atingir o ferro. Como o núcleo de ferro tem uma das maiores energias de ligação as reacções que produzem elementos mais pesados são endotérmicas pelo que não se formam quantidades apreciáveis de elementos mais pesados no funcionamento normal das estrelas. Estes são formados principalmente nas explosões de supernovas e em algumas estrelas mais leves. ⁽⁴⁴⁾

Na Terra não ocorrem reacções de fusão nuclear naturalmente. A primeira que se conseguiu realizar foi na forma de uma bomba de hidrogénio em 1952 (atol de Enewetak, Pacífico, USA)⁽⁴⁵⁾. Dada a abundância de hidrogénio e deutério na terra, rapidamente se considerou um reactor de fusão como uma fonte de energia poderosa e pouco poluente, em especial quando comparada com os reactores de fissão que têm o problema dos resíduos radioactivos com tempos de vida muito longos. No entanto, as condições que é necessário atingir para que a reacção de fusão ocorra (temperaturas do plasma da ordem dos 100 milhões de graus) impediram o seu desenvolvimento uma vez que nenhum material consegue suportar essas temperaturas sem vaporizar. Para se ter uma escala do grau de dificuldade em criar um reactor de fusão basta considerar que não chegou a 10 anos o espaço de tempo que mediou entre as aplicações militares e a produção de energia por fissão,



Fig. 22 - Painéis solares com tecnologia desenvolvida no CERN. (<http://technologytransfer.web.cern.ch/TechnologyTransfer/images/solarsrb.jpg>)

⁴¹ <http://technologytransfer.web.cern.ch/TechnologyTransfer/en/Applications/solar.html>

⁴² <http://technologytransfer.web.cern.ch/TechnologyTransfer/en/Applications/NewIsotops.html>

⁴³ Inventada no CERN em 1990 por T. Berners-Lee

⁴⁴ <http://brahms.phy.vanderbilt.edu/%7Erknop/classes/a102/fall2003/handouts/stlrev.pdf>,

⁴⁵ http://www.encyclomedia.com/hydrogen_bomb.html, http://www.youtube.com/watch?v=NNcQX033V_M

enquanto que já se passaram quase 60 anos depois da primeira reacção de fusão artificial e ainda não há nenhum reactor de fusão a produzir energia.

Para resolver o problema de “confinamento do plasma” foram surgindo várias ideias destacando-se duas que, actualmente, são as mais promissoras em termos de perspectivas de realização e uma terceira que ainda está em fase de estudo de viabilidade. As primeiras são o confinamento magnético utilizando campos magnéticos para manter o plasma quente numa região do espaço afastada das paredes do reactor, e a implosão de microcápsulas por irradiação com feixes de laser. A terceira é baseada no fenómeno Z-pinch (o confinamento é obtido fazendo passar uma corrente eléctrica no plasma que cria um campo magnético que o faz comprimir).

Combustível

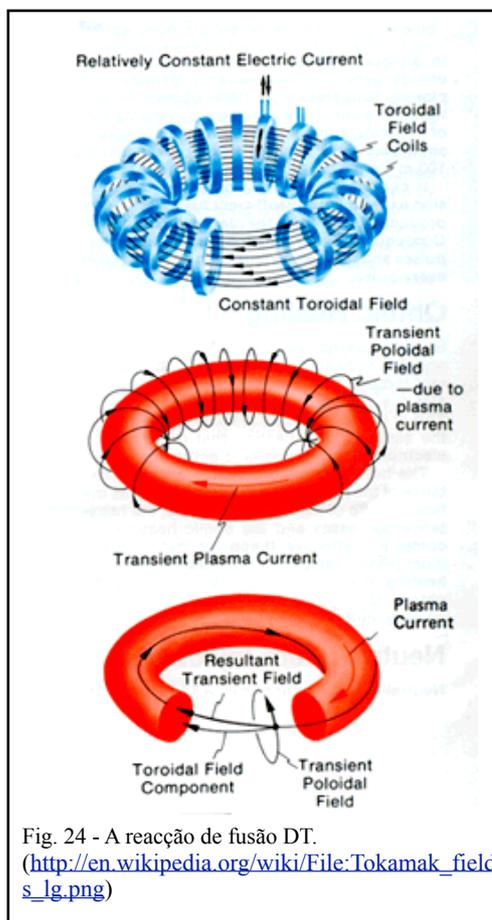
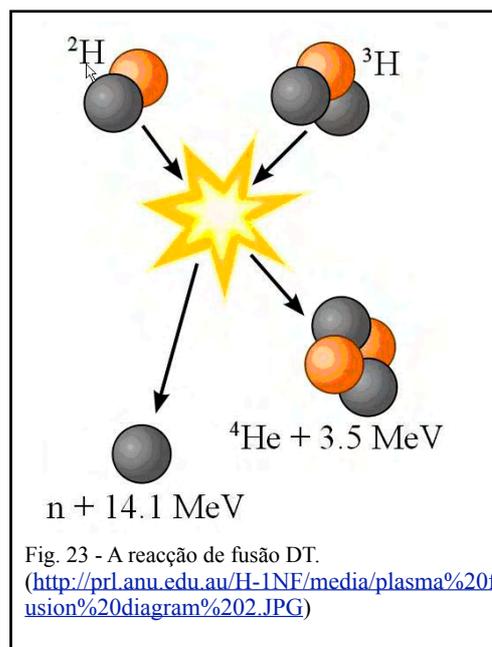
A repulsão electrostática entre núcleos carregados positivamente (também referida como barreira de Coulomb) é menor para os isótopos do hidrogénio que só têm uma unidade de carga elementar. Como um núcleo com dois prótons é muito instável tem que haver neutrões envolvidos na reacção, de modo que se possam formar núcleos de hélio (He) que são muito estáveis. Assim, embora o hidrogénio possa fazer parte do combustível temos que ter presente quantidades apreciáveis de deutério (D) e/ou trítio (T). As misturas mais promissoras são D-D e D-T. A reacção de fusão D-T ($D + T \rightarrow {}^4\text{He} + n$) tem uma energia de activação de 0,01 MeV e liberta 17,6 MeV de energia (fig. 23), enquanto que a reacção D-D ocorre de duas maneiras ($D + D \rightarrow T + p$; $D + D \rightarrow {}^3\text{He} + n$) libertando cerca de 3 MeV ou 4 MeV. Para ambas a temperatura óptima do plasma é semelhante e da ordem dos 100 milhões de graus centígrados. (46)

Confinamento Magnético – Tokamak

Um tokamak é uma máquina que produz um campo magnético toroidal para confinar o plasma. Foi inventada nos anos 1950 por dois cientistas Russos, I.Y. Tamm e A. Sakharov, o termo tokamak é uma transliteração do acrónimo russo numa frase que se pode traduzir por: Câmara Toroidal com Bobinas Magnéticas (47).

Devido à força de Lorentz as partículas carregadas electricamente em movimento num campo magnético seguem trajectórias helicoidais ao longo das linhas do campo magnético. O campo toroidal seria, em princípio, suficiente para confinar o plasma, no entanto, como o próprio plasma gera correntes eléctricas (e campos magnéticos) só com o campo toroidal o confinamento é muito instável. Verificou-se que adicionando um campo magnético poloidal é possível confinar e comprimir o plasma de modo estável permitindo atingir a fusão pois, neste campo toroidal-poloidal, as partículas seguem orbitas helicoidais estáveis ao longo do eixo do toróide (fig. 24).

Existem muitos tokamaks de investigação em todo o mundo sendo utilizados como instrumentos de desenvolvimento das técnicas de confinamento e desenvolvimento de materiais e equipamento auxiliar para a possível aplicação destas máquinas como produtores de energia (48). O maior projecto actual é a colabora-



⁴⁶ <http://www.iter.org/sci/Pages/WhatisFusion.aspx>

⁴⁷ <http://en.wikipedia.org/wiki/Tokamak>

⁴⁸ <http://en.wikipedia.org/wiki/Tokamak>

ção internacional, JET (Joint European Torus⁴⁹) que possui o maior tokamak actualmente em funcionamento e que detém o recorde de potência de fusão controlada com 16 MW, em 1997. No entanto ainda gastou mais energia a criar e manter o processo do que extraiu de lá. A razão entre a energia libertada na reacção e a energia despendida para a manter é o chamado factor Q, quando $Q = 1$ atinge-se o chamado “break-even”, mas para um reactor se tornar rentável na produção de energia estima-se que este factor deva ter valores entre 15 e 22. O recorde de 1997 apresenta um factor Q de 0,7, ainda muito longe dos valores interessantes. O recorde de valor mais elevado para Q foi atingido no tokamak JT-60 no Japão em 1998 atingindo-se um valor de $Q = 1,25$ (⁵⁰).

Para além do confinamento do plasma inúmeros problemas tecnológicos têm que ser resolvidos neste tipo de reactor, por exemplo, como extrair a energia produzida no plasma, ou como manter uma alimentação de D e T constantes. A energia libertada em cada reacção de fusão manifesta-se sob a forma de energia cinética dos produtos, por exemplo na reacção D-T o ⁴He fica com 3,5 MeV e o n com 14.1 MeV, o He fica no plasma mas o neutrão sai atravessando as paredes do reactor. Para aproveitar esta energia o neutrão tem que ser absorvido por algum material que aqueça e permita evaporar água para accionar uma turbina. Uma das hipóteses para a absorção destes neutrões é o lítio (Li) que apresenta ainda a vantagem de, ao absorver o neutrão se desintegrar num núcleo de He e outro de T. Este trítio pode ser extraído do Li e ser re-injectado no plasma como combustível (aliás é a única maneira de manter o reactor em funcionamento com esta reacção pois o trítio não existe naturalmente uma vez que é radioactivo e tem um tempo de meia-vida de 12,33 anos). Esta reacção parece ser a mais promissora do ponto de vista energético mas tem a desvantagem de produzir neutrões de alta energia que tornam radioactivos os materiais do reactor com todas as complicações que isso acarreta. No entanto, um reactor destes será sempre menos perigoso em termos de radioactividade pois os isótopos produzidos por activação têm tempos de vida relativamente curtos (até algumas dezenas de anos no máximo).

O próximo passo na tentativa de produzir um reactor comercial já está a ser construído em Cadarache, França, e chama-se **ITER** (International Thermonuclear Experimental Reactor).(fig. 25) Trata-se de um projecto que envolve a União Europeia, USA, Rússia, Japão, China, Coreia e Índia, e pretende demonstrar que é possível usar a fusão como fonte de energia sem causar um impacto negativo na sociedade (⁵¹). Concretamente os objectivos técnicos podem-se resumir nos seguintes pontos:

- 1) Atingir um valor de $Q = 10$, em períodos curtos (obter 10 vezes mais energia do que a que se injecta no reactor,
- 2) Produzir um plasma estável com um $Q = 5$ (produzindo cerca de 500 MW de energia),
- 3) Manter o plasma durante cerca de 8 minutos,
- 4) Criar um plasma auto-sustentável,
- 5) Desenvolver tecnologias acessórias (magnets, manipulação remota, etc.)
- 6) Desenvolver o processo de produção de trítio
- 7) Desenvolver a protecção e extracção do “calor” dos neutrões rápidos da reacção D-T.

Presentemente está em fase de construção das infra-estruturas locais e espera-se ter um primeiro plasma em 2018. Se tudo correr bem está planeado passar ao protótipo comercial, DEMO (DEMONstration Power Plant) a construir a partir de 2024 e que deverá produzir cerca de 2 GW de energia eléctrica. (⁵²)

A construção de ITER deverá ser o projecto científico mais caro da história da humanidade estando previsto um custo de 10 biliões € (10^9 €) ao longo dos 30 anos previstos para a sua duração. Para além do benefício óbvio da produção de energia um projecto desta envergadura, à semelhança do acelerador LHC, irá produzir inúmeros desenvolvimentos no campo dos materiais, electrónica, etc. que, mais tarde ou mais cedo, serão aplicados noutros produtos de consumo ou em nosso benefício.

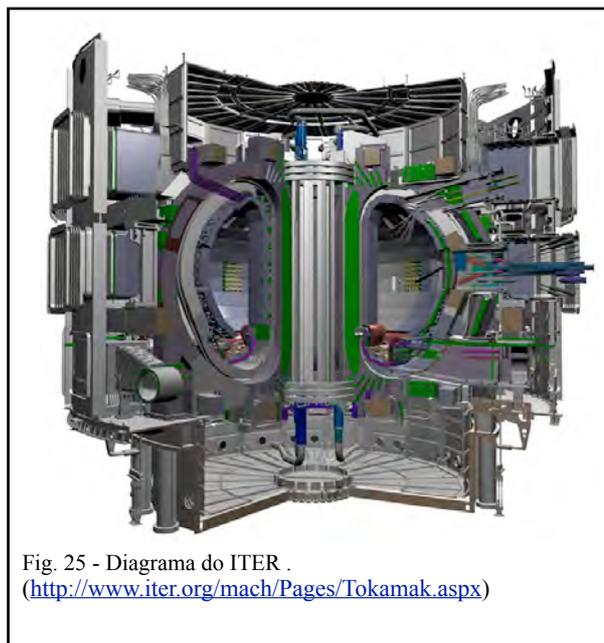


Fig. 25 - Diagrama do ITER .
(<http://www.iter.org/mach/Pages/Tokamak.aspx>)

⁴⁹ <http://www.jet.efda.org>

⁵⁰ <http://www-jt60.naka.jaea.go.jp/english/index-e.html>

⁵¹ <http://www.iter.org>

⁵² <http://en.wikipedia.org/wiki/DEMO>

Confinamento com Lasers

Uma técnica alternativa para produzir fusão nuclear é a chamada fusão por confinamento inercial (ICF - Inertial Confinement Fusion) em que se utilizam “dispositivos” para aquecer rapidamente as camadas externas de um “alvo” de modo a comprimi-lo muito rapidamente. Normalmente o alvo são pequenas esferas de combustível de fusão com alguns miligramas (mistura de D e T) e os “dispositivos” são lasers de elevada potência (as estrelas funcionam com este princípio mas a compressão é obtida pela atracção gravítica).

A pequena célula de combustível é iluminada por diversos feixes laser simetricamente. A energia dos laser aquece a camada exterior da esfera até se formar um plasma que explode, o choque provoca a compressão da parte interior da esfera que se comprime até um pequeno ponto com elevada densidade. A explosão do plasma também cria uma onda de choque que viaja em direcção ao centro, quando encontra a onda de choque do lado oposto aquece e comprime ainda mais o pequeno ponto de combustível no centro. Se a temperatura atingida for favorável começam reacções de fusão cujos produtos carregados (partículas α) perdem a sua energia no combustível circundante, aumentando a sua temperatura e provocando a fusão no restante combustível que “queima” a partir do centro onde se deu início à reacção em cadeia.

Este processo de ignição pode fazer com que quase todo o combustível entre em fusão dando origem a uma libertação de energia muito grande que pode ser aproveitada para gerar energia tal como nos tokamak. ⁽⁵³⁾

Existem diversas instalações experimentais com o fim de estudar os vários aspectos desta maneira de provocar a fusão. Actualmente o maior e mais energético dispositivo de fusão por confinamento inercial é NIF (National Ignition Facility, Livermore, CA, USA) (fig. 26), onde se pretende atingir o regime de ignição pela primeira vez. Foi completado no fim de 2008 e as primeiras experiências com os laser no alvo ocorreram em Junho de 2009, estando previsto iniciar as experiências de ignição em 2010 ⁽⁵⁴⁾. A esfera de combustível tem 2 mm de diâmetro, tem uma camada sólida de DT (detério-trítio) com uma mistura gasosa dos mesmos elementos no seu interior. Esta esfera é mantida a 18 K (-255,14 °C) dentro de um pequeno cilindro metálico. Dos cerca de 4 MJ de energia inicial dos laser que vão provocar a fusão espera-se que provoquem uma onda de choque com cerca de 140 kJ na esfera de combustível que, quando ocorrer a ignição, deverá libertar cerca de 20 MJ de energia. Espera-se que, melhorando o desenho do cilindro metálico que contém o combustível se possa atingir o máximo de energia libertada possível nesta instalação que é de cerca de 45 MJ (equivalente à explosão de 11 kg de TNT).

A União Europeia está também a planear a construção de um laboratório com o fim de obter ignição com laser, HIPER (High Power laser Energy Research facility) (fig. 27). Encontra-se ainda em fase preliminar de planeamento e desenho estando previsto que possa começar a ser construído em meados da década de 2010 com início de funcionamento nos primeiros anos da década de 2020. A principal diferença em relação a

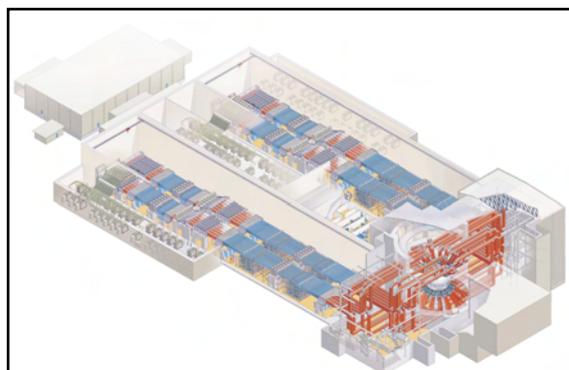


Fig. 26 - Diagrama do NIF, USA .

(http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/dc/NIF_building_layout.jpg)

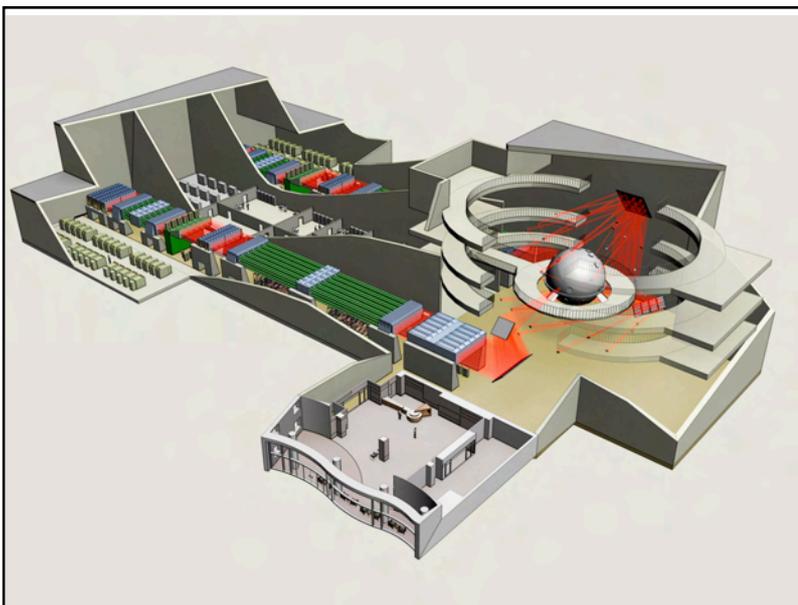


Fig. 27 - Diagrama do HiPER, EU.

(http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/7/73/HiPER_baseline_design.jpg)

⁵³ http://en.wikipedia.org/wiki/Inertial_confinement_fusion

⁵⁴ <https://lasers.llnl.gov/>

NIF é a utilização do princípio de ignição rápida (Fast Ignition) que requer lasers com menos potência o que facilita a construção e a torna mais barata. Na ignição rápida separa-se a fase de compressão da fase de aquecimento, um conjunto de lasers ilumina o alvo de modo a obter uma grande compressão e depois um impulso muito rápido e energético de laser aquece o combustível para iniciar a fusão. ⁽⁵⁵⁾

Conclusão

Os grandes projectos científicos são verdadeiros motores de desenvolvimento tecnológico e social. A compreensão da sua utilidade e importância no funcionamento da nossa sociedade pelo público em geral é importante para a sua aceitação mas só se consegue com uma melhor educação científica desse mesmo público. Por outro lado, como se pode ver nos exemplos referidos, o financiamento destes projectos requer somas astronómicas, a maior parte das vezes para além das possibilidades de um só país, assim é necessário que o público possua conhecimentos suficientes para poder colaborar nos processos de decisão de implementação de novos projectos ambiciosos.

Bibliografia: (Todos os locais citados foram acedidos em 5 de Outubro de 2009)

www.wikipedia.org

Telescópios

www.eso.org/
<http://science.nasa.gov/>
<http://www.gmto.org/>
<http://www.gtcdigital.net>
<http://www.infoastro.com>
<http://map.gsfc.nasa.gov>
<http://aether.lbl.gov/www/projects/cobe/>
www.lsst.org/lsst
<http://sohowww.nascom.nasa.gov/>
<http://www.gazetadefisica.spf.pt/> (Vol. 32, Fasc. 2-3, 2009)

nanotecnologia

http://www.nnin.org/nnin_edu.html
http://www.euroresidentes.com/futuro/nanotecnologia/nanotecnologia_que_es.htm
<http://www.understandingnano.com/>
<http://www.nanotech-now.com/>
<http://www.azonano.com/>

LHC

<http://public.web.cern.ch/public/en/LHC/LHC-en.html>
<http://lhc.web.cern.ch/lhc/>
<http://public.web.cern.ch/public/en/LHC/Facts-en.html>
<http://public.web.cern.ch/public/>
http://technologytransfer.web.cern.ch/TechnologyTransfer/en/Successful_Transfers/Successful_Transfers.html
<http://www.lhc-closer.es/>

Fusão nuclear

<http://www.jet.efda.org/>
<http://www.iter.org/>
<http://www.hiperlaser.org/>
<https://lasers.llnl.gov/>
<http://www.efda.org/>
<http://www.hiper-laser.org>

⁵⁵ <http://www.hiper-laser.org/>

Questões orientadoras:

GERAIS

1 - Onde vamos encontrar computadores no futuro?

Será benéfico, para o ambiente, haver cada vez mais e mais pequenos

2 - Haverá áreas de investigação prioritárias?

TELESCÓPIOS:

3 - Que importância poderá vir a ter (ou já tem) a óptica adaptável para os consumidores?

NANO TECNOLOGIA

4 - Será a nano tecnologia a grande solução para o tratamento de cancros?

5 - A nano tecnologia poderá ajudar a controlar o clima?

ACELERADORES:

6 - Irá o LHC criar um buraco negro que engula o sistema solar?

FUSÃO NUCLEAR

7 - poderá a fusão nuclear acabar com os nossos problemas energéticos?

8 - Precisamos mesmo de produzir a nossa energia deste modo tão caro? haverá alternativas?

9 - Quem quer ter reactores de fusão como vizinhos?