

$x3 [c / \omega_p]$

$x2 [c / \omega_p]$

$x1 [c / \omega_p]$

Renascimento
Quântico

A Europa vai "HiPER"

ELI — o deus da luz

Índice

artigo geral

2 **Renascimento
quântico**

Markus Aspelmeyer e Anton Zeilinger
(Tradução: Ana Sampaio)

física sem fronteiras

9 **ELI**
o deus da Luz

Marta Fajardo e Nelson Lopes

física sem fronteiras

13 **A Europa** vai “HiPER”

Jonathan R. Davies

física e sociedade

17 **Equilíbrio impossível**
Max Planck no período
do Terceiro Reich

Ana Simões

crónica: pensamentos quânticos

20 **O Quantum de
Consolação:**
consola ou não?

Jim Al-Khalili (Tradução: Tânia Rocha)

crónica: física divertida

21 **De Miuzela** para o
mundo

Carlos Fiolhais

22 **Notícias**

Teresa Peña, Emílio Ribeiro, Gustavo Castelo Branco,
Jorge Romão, Carla Carmelo Rosa, Fernando Nogueira,
Tânia Rocha, Gonçalo Figueira e Adelino Paiva

gazeta ao laboratório

31 **A lenda de Arquimedes
no ensino da física**

Eliana M. F. Vieira, José P. B. Silva, Sandra D. F. C. Moreira
Manuel F. P. C. M. Costa e Maria J. M. Gomes

gazeta ao laboratório

37 **Novos laboratórios
escolares**

Teresa Heitor, Vítor Duarte Teodoro,
João Fernandes e Clara Boavida

Publicação Trimestral Subsidiada

vamos experimentar

39 **Qual abana mais?**

Constança Providência e Helena Alberto

histórias e estórias

41 **A história do laser
dava uma saga de
Hollywood**

Gonçalo Figueira e João Mendanha Dias

por dentro e por fora

43 **O spray mágico de
Obama** A nomeação
de Steven Chu

Teresa Peña

sala de professores

45 **O coeficiente
de restituição**
para uma
colisão não frontal

Vítor Manuel Figueiredo Pereira,
Manuel Fernando Ferreira da Silva

sala de professores

51 **Participação
Portuguesa**
Escola de Verão no CERN

Anabela Fernandes e Filipa Oliveira

entrevista

52 **Entrevista
com: Gérard
Mourou**

Gonçalo Figueira

livros e multimédia

54 **Filosofia e história da Ciência**
em Portugal no século XX

António José F. Leonardo

Como Arrefecer o Planeta
José Matos

onda e corpúsculo

56 **E se o Higgs não existir?**
E se o LHC não descobre
nada?

Filipe Moura, Augusto Barroso,
Gustavo Castelo Branco e João Seixas



FCT Fundação para a Ciência e a Tecnologia
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR



Há meio século atrás, a física assistiu a uma empolgante corrida em busca do primeiro laser – uma luz coerente, fortemente direccionada e de frequência bem definida. O objectivo foi finalmente atingido em 1960, no meio de peripécias várias (que recordamos neste número). Porém, ao entusiasmo inicial seguiu-se uma certa perplexidade: o laser parecia ser extremamente útil, mas ninguém conseguia perceber exactamente para quê... havendo mesmo quem ironicamente falasse de “uma solução à procura de um problema”.

Mas as coisas evoluíram tremendamente, e boa parte da sociedade tecnológica actual é baseada nas propriedades da luz laser. E, se hoje já não há quem duvide da utilidade destes versáteis instrumentos, os pioneiros do laser não podiam imaginar o alcance extraordinário que os cientistas estão a vislumbrar para esta forma de luz. Nesta edição da Gazeta de Física espreitamos algumas das fantásticas aplicações que os feixes laser do presente (e do futuro) tornam possíveis, desde um verdadeiro renascimento do interesse nas aplicações da mecânica quântica, como nos relatam Markus Aspelmeyer e Anton Zeilinger, passando pelas exóticas perspectivas da óptica ultra-relativista, abordadas por Marta Fajardo e Nelson Lopes, até a mecanismos inovadores para atingir fusão nuclear, conforme explica Jonathan Davies. E falamos em exclusivo com Gérard Mourou, o cientista que coordena o projecto do laser mais potente alguma vez construído.

Para já, com o ano de 2008 a dar lugar a 2009, vêm as memórias e os sonhos. Primeiro as memórias: a 10 de Setembro de 2008, às 10h25, com precisão suíça, activou-se o primeiro feixe de prótons que percorreu os 27 km do anel do acelerador LHC. O Centro de Controlo do CERN revestiu-se da emoção antes só vista nas salas de Controlo da NASA. Físicos de todo o mundo vibraram com

a visão de dois pontinhos cor-de-laranja num écran de computador. O LHC entrou em funcionamento!...só para... em 19 de Setembro, ter um grande soluço, provocado por uma descarga eléctrica inesperada. Um dos magnetes supercondutores aqueceu bem acima da temperatura crítica, derramando-se hélio criogénico.

Mas parece que nada insuperável aconteceu. Depois deste acidente, os esforços dos técnicos e cientistas renovam a esperança de que em 2009 o LHC entre mesmo em funcionamento. Há simplesmente um atraso, só estranho ao rigor suíço. É apenas um pequeno “Large Hadron Gap”, que vai decerto acabar no sucesso do “Large Hadron Rap”, o fantástico clip promocional publicado em Agosto no YouTube (ver website da Gazeta de Física). Augusto Barroso, Gustavo Castelo Branco, Jorge Dias de Deus e João Seixas contam aos leitores da Gazeta o que será a era de ouro da física que o LHC traz consigo.

Resta-nos celebrar em 2008 a observação directa de exoplanetas, em Novembro, através da fotografia de 3 planetas em torno da estrela HR 8799, a 130 anos-luz do Sol, realizada pelo maior observatório do Mundo, Keck. O que nos leva ao primeiro sonho para 2009: o Ano Internacional da Astronomia e as surpresas que pode trazer.

Outra grande esperança na passagem entre 2008 e 2009 é a da nomeação do Prémio Nobel da Física, Steven Chu, para secretário de estado da energia, por Barack Obama. Obama parece reconhecer o valor da ciência e da tecnologia. No discurso feito no Grant Park de Chicago, na noite da vitória eleitoral, referindo-se a uma mulher de 106 anos que votou electronicamente, resumiu 50 anos de história com os marcos do progresso científico: a chegada à Lua, a interconectividade do mundo global através dos media, os computadores e a web: “Um homem pisou a Lua, um muro caiu em Berlim, o mundo ligou-se graças à nossa ciência e imaginação; e ela votou tocando com o dedo no écran”. Talvez 2009 não venha a ser tão mau como muitos dizem...

Teresa Peña e Gonçalo Figueira

Ficha Técnica

Propriedade

Sociedade Portuguesa de Física
Av. da República, 45 – 3º Esq.
1050-187 Lisboa
Telefone: 217 993 665

Equipa

Teresa Peña (Directora Editorial)
Gonçalo Figueira (Director Editorial Adjunto)
Filipe Moura (Editor)
Tânia Rocha (Assistente Editorial)
Ana Sampaio (Tradutora)

Secretariado

Maria José Couceiro
mjose@spf.pt

Colunistas e Colaboradores regulares

Jim Al-Khalili
Carlos Fiolhais
Constança Providência
Ana Simões

Colaboraram também neste número

Helena Alberto, Markus Aspelmeyer, Augusto Barroso, Clara Boavida, Gustavo Castelo Branco, Manuel F. P. C. M. Costa, Jonathan R. Davies, João Mendanha Dias, Marta Fajardo, Anabela Fernandes, João Fernandes, Maria J. M. Gomes, Teresa Heitor, António José F. Leonardo, Nelson Lopes, José Matos, Sandra D. F. C. Moreira, Fernando Nogueira, Filipa Oliveira, Adelino Paiva, Vítor Manuel F. Pereira, Emílio Ribeiro, Jorge Romão, Carla Carmelo Rosa, João Seixas, José P. B. Silva, Manuel Fernando F. da Silva, Vítor Duarte Teodoro, Eliana M. F. Vieira, Anton Zeilinger

Design / Produção Gráfica

Dossier, Comunicação e Imagem
www.dossier.com.pt

NIPC 501094628

Registo ICS 110856

ISSN 0396-3561

Depósito Legal 51419/91

Tiragem 1.800 Ex.

Publicação Trimestral Subsidiada

As opiniões dos autores não representam necessariamente posições da SPF.

Preço N.º Avulso €5,00 (inclui I.V.A.)

Assinatura Anual €15,00 (inclui I.V.A.)

Assinaturas Grátis aos Sócios da SPF.



Renascimento quântico

Markus Aspelmeyer ⁽¹⁾ e Anton Zeilinger ⁽¹⁾⁽²⁾

⁽¹⁾ *Institute for Quantum Optics and Quantum Information (IQOQI)*

⁽²⁾ *Academia das Ciências, Viena e Universidade de Viena*

Tradução de Ana Sampaio

HOJE EM DIA, OS FÍSICOS JÁ CONSEGUEM EXPLORAR DE FORMA ROTINEIRA AS POUCO INTUITIVAS PROPRIEDADES DA MECÂNICA QUÂNTICA NA TRANSMISSÃO, ENCRIPTAÇÃO E ATÉ MESMO NO PROCESSAMENTO DA INFORMAÇÃO. PORÉM, COMO MARKUS ASPELMEYER E ANTON ZEILINGER FAZEM NOTAR, OS AVANÇOS TECNOLÓGICOS DA CIÊNCIA DA INFORMAÇÃO QUÂNTICA ESTÃO TAMBÉM A PERMITIR AOS INVESTIGADORES ABORDAREM DE NOVO AS QUESTÕES FUNDAMENTAIS SUSCITADAS PELA TEORIA QUÂNTICA.

A curiosidade pura esteve na origem de muitas experiências inovadoras em física. E a mecânica quântica, inicialmente a física do extremamente pequeno, é o melhor exemplo disso mesmo. Desde os seus primórdios, nas décadas de 1920 e 1930, o objectivo dos investigadores tem sido o de observar as pouco intuitivas propriedades da mecânica quântica directamente no laboratório. No entanto, como a tecnologia experimental não estava suficientemente desenvolvida naquela época, cientistas como Niels Bohr, Albert Einstein, Werner Heisenberg e Erwin Schrödinger preferiam recorrer a *gedankenexperiments* (experiências de pensamento) para investigarem a física quântica de partículas isoladas, sobretudo electrões e fótons. Na década de 1970, porém, a tecnologia já tinha evoluído o suficiente para provocar uma “Corrida ao Ouro” de experiências fundamentais, que se prolongou até à década de 1990. Estas experiências confirmaram a teoria quântica com um êxito assinalável e puseram

A MECÂNICA QUÂNTICA QUESTIONA NOÇÕES INTUITIVAS SOBRE A REALIDADE COMO, POR EXEMPLO, SABER SE UMA PROPRIEDADE DE UMA PARTÍCULA EXISTE ANTES DE UMA MEDIÇÃO SER EFECTUADA SOBRE ELA.

O entrelaçamento é um dos aspectos mais desconcertantes da teoria quântica, porque implica que os resultados das medições efectuadas sobre duas partículas estão intimamente ligados um ao outro, instantaneamente, independentemente da distância a que as partículas se encontrem.

Desde a década de 1970, as experiências têm demonstrado repetidamente que a teoria quântica está correcta, mas os investigadores continuam a conceber medições que lhes permitam descobrir aquilo que a mecânica quântica nos diz efectivamente acerca da realidade física.

Estes testes deram origem a um novo domínio chamado ciência da informação quântica, no qual o entrelaçamento e outros fenómenos quânticos são utilizados para codificar, transmitir e processar informações de maneiras radicalmente novas.

O crescente nível de controlo sobre sistemas quânticos individuais que tem impulsionado a ciência da informação quântica está agora também a permitir aos físicos enfrentarem mais uma vez os enigmas fundamentais suscitados pela teoria quântica.

em causa muitos dos pressupostos do senso comum sobre o mundo físico. Entre estes pressupostos contam-se o “realismo” (que, *grosso modo*, afirma que os resultados das medições revelam características do mundo que existem independentemente da medição), a “localidade” (o resultado das medições efectuadas aqui e agora não depende de alguma acção que possa ser realizada a uma grande distância, exactamente ao mesmo tempo) e a “não contextualidade” (os resultados das medições são independentes do contexto dos instrumentos de medição).

Todavia, uma grande surpresa aguardava todos os que trabalhavam neste campo. As experiências quânticas fundamentais deram origem a um campo completamente novo, no qual os investigadores aplicam fenómenos como a sobreposição, o entrelaçamento e a aleatoriedade para codificarem, transmitirem e processarem informação em sistemas radicalmente novos. A “ciência quântica da informação” é hoje um domínio interdisciplinar florescente que colocou ao nosso alcance aplicações com designações futuristas, como computadores quânticos, criptografia quântica e teleportação quântica. Além disso, os avanços tecnológicos que lhe estão subjacentes deram aos investigadores um controlo sem precedentes sobre os sistemas quânticos individuais, que está agora na origem de um renascimento da nossa curiosidade em relação ao mundo quântico, permitindo aos físicos abordarem novos aspectos fundamentais da mecânica quântica, o que, por sua vez, pode abrir novos caminhos na ciência da informação quântica.

CONTRA A INTUIÇÃO

Tanto as experiências quânticas fundamentais como a ciência da informação quântica devem muito à introdução do laser na década de 1960, que proporcionou novas formas muito eficazes de preparar sistemas quânticos individuais para testar as previsões da teoria quântica. Com efeito, o desenvolvimento inicial de experiências fundamentais de física quântica ocorreu em simultâneo com algumas das primeiras investigações experimentais sobre óptica quântica.

Um dos grandes saltos experimentais dados nessa época foi a capacidade de produzir pares de fótons “entrelaçados”. Em 1935, Schrödinger inventou o termo “entrelaçamento” para designar pares de partículas que são descritos através apenas das suas propriedades comuns e não das propriedades individuais de cada partícula - o que vai contra a nossa experiência do mundo macroscópico. Pouco tempo antes, Einstein, Boris Podolsky e Nathan Rosen (colectivamente conhecidos por EPR) tinham utilizado uma *gedankenexperiment* para argumentar que, se existe entrelaçamento, a descrição da mecânica quântica para a realidade física tem de estar incompleta. Einstein não gostava da ideia de que o estado quântico de uma partícula entrelaçada poderia mudar instantaneamente quando era efectuada uma medição na outra partícula. Dizia que a acção à distância era “fantasmagórica” e esperava que surgisse uma teoria física mais completa do muito pequeno que não apresentasse estas estranhas características (ver “The power of entanglement” [O poder do entrelaçamento], de Harald Weinfurter, *Physics World*, Janeiro 2005, pp. 47-51). Esta questão esteve no centro de uma famosa polémica entre Einstein e Bohr sobre se a física descreve a natureza “como ela é realmente”, como Einstein considerava, ou se descreve “aquilo que podemos dizer sobre a natureza”, como Bohr acreditava. Até à década de 1960, estas questões tiveram apenas uma natureza filosófica. Porém, em 1964, John Bell, um físico da Irlanda do Norte, percebeu que as experiências com partículas entrelaçadas poderiam constituir um teste para saber se existe uma descrição mais completa do mundo para além da teoria quântica. O trio EPR acreditava que essa teoria existe.

Bell baseou o seu argumento em duas suposições feitas pelo grupo EPR que são directamente contrariadas pelas propriedades das partículas entrelaçadas. A primeira é a localidade, que afirma que os resultados das medições efectuadas numa partícula têm de ser independentes do que quer que seja efectuado ao mesmo tempo à sua parceira entrelaçada, localizada a uma distância arbitrária. O segundo é o realismo, que afirma que o resultado de uma medição numa das partículas reflecte as propriedades que a partícula possuía antes e independentemente da medição. Bell mostrou que uma combinação específica de medições efectuadas em pares de partículas identicamente preparadas produziria um limite numérico (hoje designado por desigualdade de Bell) que é satisfeito por todas as teorias físicas que obedecem a estes dois pressupostos. No entanto, ele revelou igualmente que este limite é violado pelas previsões da física quântica para pares de partículas entrelaçadas (*Physics*, 1, 195).

Consideremos, por exemplo, a polarização de fótons. Um

fotão individual pode ser polarizado segundo uma direcção específica, por exemplo, a horizontal, e podemos medir essa polarização fazendo passar o fotão através de um polarizador, orientado horizontalmente. Um clique do detector de fótons colocado atrás dele indica uma medição bem-sucedida e revela que o fotão está polarizado horizontalmente; a ausência de clique significa que o fotão está polarizado segundo a vertical. No entanto, no caso de um par de fótons entrelaçados, os fótons individuais revelam não possuir qualquer polarização específica, antes de serem medidos! Medir a polarização horizontal de um dos fótons dará sempre um resultado aleatório, o que torna igualmente provável encontrar um fotão individual polarizado horizontalmente ou verticalmente. Todavia, se efectuarmos a mesma medição no outro fotão do par entrelaçado (pressupondo um determinado tipo de estado de entrelaçamento), veremos que ambos os fótons são polarizados segundo a mesma direcção. O mesmo acontece para todas as direcções de medição e independentemente da separação espacial das partículas.

A desigualdade de Bell abria a possibilidade de testar pressupostos específicos subjacentes às teorias físicas - um esforço legitimamente referido por Abner Shimony, da Universidade de Boston, como “metafísica experimental”. Neste tipo de experiências de Bell, dois observadores distantes medem a polarização das partículas entrelaçadas segundo direcções diferentes e calculam as correlações entre elas. Uma vez que as correlações quânticas entre medições de polarização independentes para partículas entrelaçadas podem ser muito mais fortes do que é permitido por qualquer teoria local realista, a desigualdade de Bell será violada.

LACUNAS QUÂNTICAS

O primeiro destes testes foi realizado em 1972 por Stuart Freedman e John Clauser, da Universidade da Califórnia em Berkeley, utilizando fótons entrelaçados. A desigualdade de Bell foi violada e as previsões da teoria quântica foram confirmadas (*Phys. Rev. Lett.*, 28, 938). Porém, logo de início, surgiram algumas lacunas que implicavam que os investigadores não podiam excluir todos os modelos “locais realistas” possíveis como explicação para as correlações observadas. Por exemplo, podia acontecer que as partículas detectadas não fossem uma amostra adequada de todas as partículas emitidas pela fonte (a chamada lacuna da detecção) ou que os vários elementos da experiência ainda pudessem estar relacionados causalmente (a lacuna da localidade). Para colmatar estas lacunas, era preciso garantir condições experimentais mais rigorosas.

Em 1982, Alain Aspect e colegas da Université Paris-Sud, em Orsay, França, levaram a cabo uma série de experiências pioneiras que estavam muito próximas da proposta original da Bell. A equipa criou um sistema de detecção de dois canais para evitar fazer suposições sobre os fótons que não passavam através do polarizador (*Phys. Rev. Lett.*, 49, 91) e também alterou periodicamente - e, portanto, deterministicamente - a orientação dos polarizadores, depois de os fótons serem emitidos da fonte (*Phys. Rev. Lett.*, 49, 1804). Mesmo nestas condições mais rigorosas, a desigualdade de Bell foi violada em ambos os casos, reduzindo assim significativamente

te as hipóteses das explicações locais realistas para o entrelaçamento quântico.

Em 1998, um dos autores (AZ) e colegas, na altura na Universidade de Innsbruck, colmataram a lacuna da localidade, utilizando dois geradores quânticos de números aleatórios totalmente independentes para definir as direcções das medições dos fótons. Isto significava que a direcção segundo a qual a polarização de cada fotão era medida era decidida no último instante, de tal modo que nenhum sinal (que tem necessariamente de viajar a uma velocidade inferior à velocidade da luz) seria capaz de transferir informações para o outro lado, antes de o fotão ser registado (*Phys. Rev. Lett.*, 81, 5039). A desigualdade de Bell foi violada.

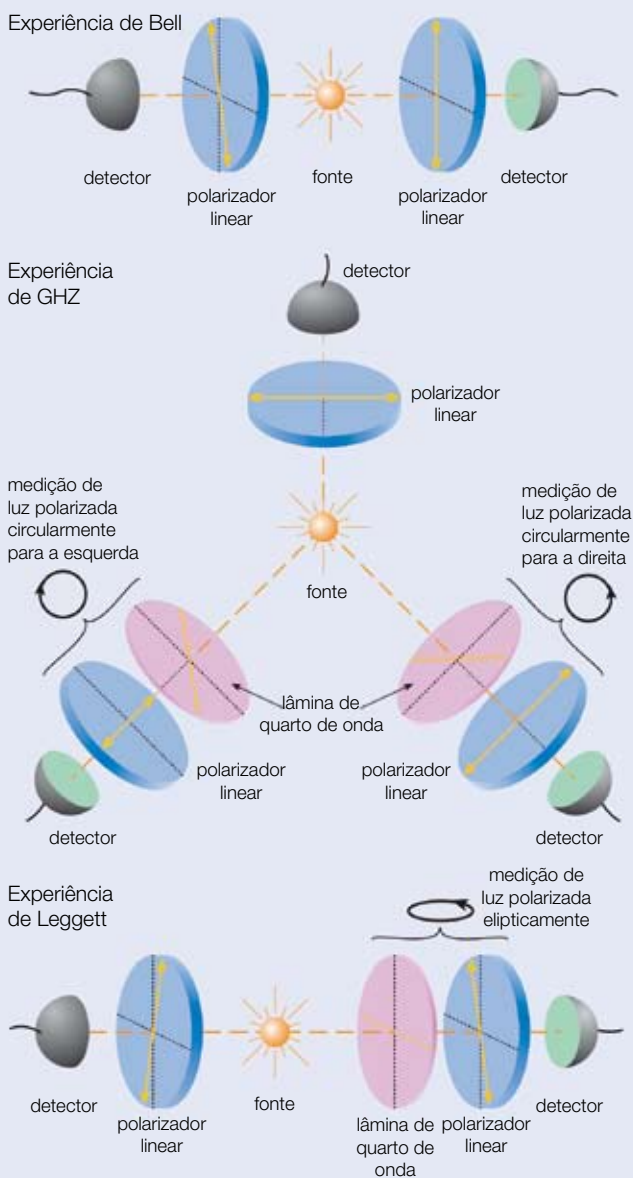
Posteriormente, em 2004, David Wineland e colaboradores no National Institute of Standards and Technology (NIST), no Colorado, EUA, decidiram colmatar a lacuna da detecção, utilizando detectores com eficiência perfeita, numa experiência com iões de berílio entrelaçados (*Nature*, 409, 791). Mais uma vez, a desigualdade de Bell foi violada. Na verdade, até agora todos os resultados sugerem que nenhuma teoria quântica local realista consegue explicar o entrelaçamento quântico.

Todavia, o teste final do Teorema de Bell ainda não foi feito: uma experiência única que preencha, de uma só vez, todas as lacunas. É muito pouco provável que essa experiência entre em desacordo com a previsão da mecânica quântica, uma vez que isso implicaria que a natureza recorre tanto à lacuna da detecção, da experiência de Innsbruck, como à lacuna da localidade, da experiência do NIST. No entanto, a natureza pode ser cruel e, se queremos encerrar de vez a polémica sobre o realismo local, essa será seguramente uma experiência a fazer.

Em 1987, Daniel Greenberger do New York City College, Michael Horne do Stonehill College e AZ (colectivamente, GHZ) perceberam que o entrelaçamento de três ou mais partículas constituiria um constrangimento ainda maior para o realismo local do que o entrelaçamento de duas partículas (*Am. J. Phys.*, 58, 1131). Enquanto duas partículas entrelaçadas apenas estão em discordância com o realismo local nas suas propriedades estatísticas, o que constitui a essência do Teorema de Bell, três partículas entrelaçadas podem produzir um conflito imediato numa única medição, porque as medições em duas das partículas nos permitem prever com certeza a propriedade da terceira partícula.

As primeiras experiências com três fótons entrelaçados foram realizadas no final de 1999 por AZ e colaboradores e revelaram uma conformidade surpreendente com a teoria quântica (*Nature*, 403, 515). Até agora, todos os testes de ambas as desigualdades de Bell com três partículas entrelaçadas (conhecidas como experiências GHZ - ver Figura 1) confirmam as previsões da teoria quântica e, por consequência, estão em conflito com o pressuposto conjunto de localidade e realismo como hipótese de trabalho

1. Testar o realismo



Para testar o conceito de realismo físico, podem ser utilizadas experiências com pares ou trios de fótons entrelaçados. Na versão original das experiências de tipo Bell (em cima), ambos os fótons de um par entrelaçado têm a mesma polarização linear para polarizadores paralelos. Porém, para polarizadores com um pequeno ângulo entre eles, como é mostrado, o mesmo resultado é obtido para ambos os fótons com mais frequência do que seria permitido se a polarização fosse uma propriedade local real dos fótons.

Nas chamadas experiências de GHZ (no meio), se soubermos, por exemplo, as polarizações circulares de dois fótons de um trio de três fótons entrelaçados, a mecânica quântica permite prever com certeza a polarização linear do terceiro fóton (em cima), que neste caso é horizontal. Um defensor do realismo local prediria uma polarização linear ortogonal - neste caso, vertical. Numa experiência de tipo Leggett (em baixo), demonstra-se que as correlações entre a polarização linear de um fóton e a polarização elíptica do outro violam uma visão realista do mundo, mesmo que seja permitida uma comunicação não local instantânea. Como é mostrado na figura, as polarizações circular e elíptica de fótons únicos podem ser medidas por meio de combinações adequadas de placas em quarto de onda e de polarizadores lineares.

subjacente a qualquer teoria física que pretenda explicar as características das partículas entrelaçadas.

CIÊNCIA QUÂNTICA DA INFORMAÇÃO

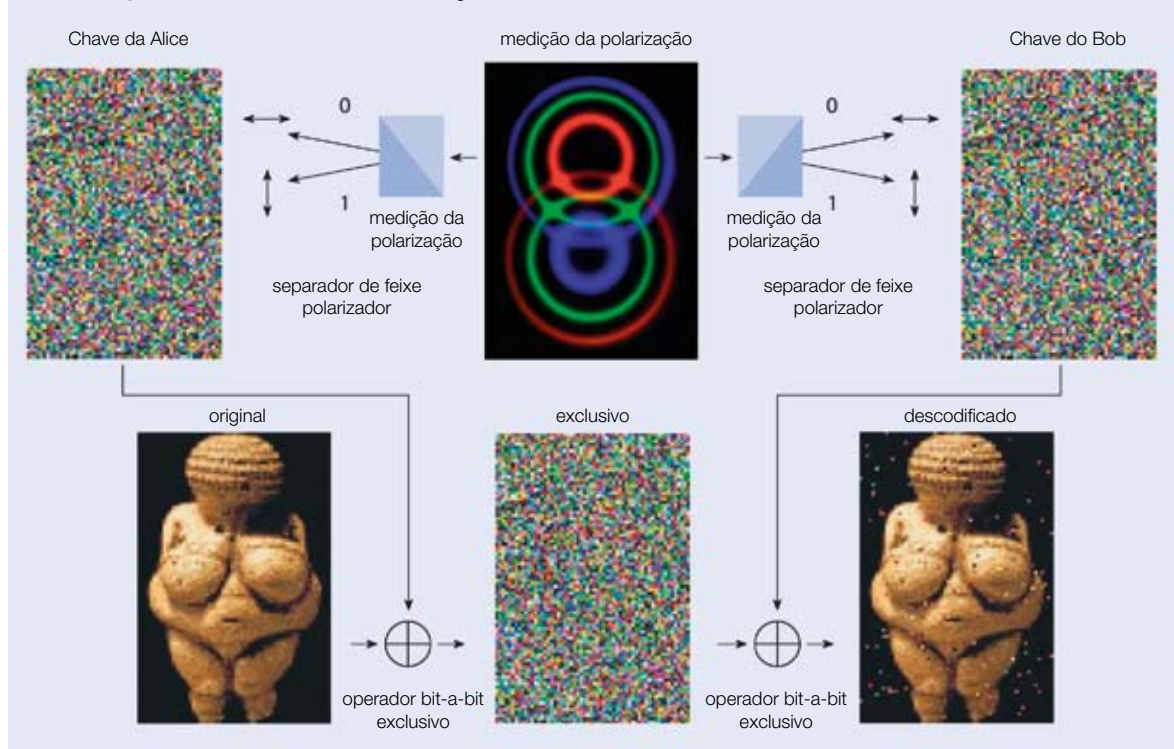
As muitas e belas experiências realizadas durante os primeiros tempos da óptica quântica suscitaram um interesse renovado pelos conceitos básicos da física quântica. Prova disso é, por exemplo, o número de citações do artigo do EPR, que defendia que o entrelaçamento torna incompleta a descrição que a mecânica quântica faz da realidade física. O artigo foi citado apenas cerca de 40 vezes entre a sua publicação em 1935 e 1965, logo após Bell ter desenvolvido as suas desigualdades. No entanto, hoje tem mais de 4 000 citações, com uma média de 200 por ano a partir de 2002. Parte da razão para este aumento é o facto de investigadores de diversas áreas terem começado a perceber as drásticas consequências da utilização do entrelaçamento e de outros conceitos quânticos para codificar, transmitir e processar informação.

Veja-se a criptografia quântica, que aplica a aleatoriedade, a sobreposição e, num sistema proposto por Artur Ekert da Universidade de Oxford, no Reino Unido, o entrelaçamento de duas partículas, para transmitir informações de tal forma que a segurança contra potenciais escutas é garantida pelas leis da física (ver Figura 2). Esta aplicação da ciência da informação quântica já saiu do ambiente de laboratório. Em 2004, por exemplo, AZ e colegas da Universidade de Viena transferiram dinheiro em segurança entre um banco austríaco e a Câmara Municipal de Viena, recorrendo a pares de fótons entrelaçados que foram gerados por um laser num processo óptico não linear e distribuídos através de fibras ópticas. Mais recentemente, duas colaborações internacionais conseguiram distribuir fótons entrelaçados a uma distância de 144 km entre Las Palmas e Tenerife, incluindo uma demonstração de criptografia quântica, e, no início deste ano, conseguiram até mostrar que essas ligações poderiam ser criadas no espaço, dirigindo impulsos laser atenuados ao nível do fóton único para um satélite, de onde foram devolvidos para uma estação receptora na Terra (*Physics World*, Maio, p. 4). Já estão no mercado produtos comerciais de criptografia quântica à base de impulsos laser atenuados (ver *Physics World*, Março de 2007, pp. 24-29) e o desafio é agora atingir débitos binários mais elevados e alcançar distâncias maiores.

Analogamente, o caminho que conduziu às experiências GHZ abriu o enorme campo do entrelaçamento de múltiplas partículas, que tem aplicações na metrologia quântica, entre outras coisas. Por exemplo, uma maior incerteza no número de fótons entrelaçados num interferómetro conduz a uma menor incerteza nas suas fases, resultando assim numa maior precisão na medição, em comparação com uma experiência semelhante utilizando o mesmo número de fótons não entrelaçados.

O entrelaçamento de múltiplas partículas é também essencial para a computação quântica. A computação quântica explora fenómenos quânticos fundamentais, de modo a permitir que os cálculos sejam realizados a velocidade nunca vistas - talvez até mesmo resolvendo problemas que são demasiado complexos para os computadores convencionais, como a factorização de grandes números primos ou a busca rápida em ba-

2. Criptografia baseada no entrelaçamento quântico



A criptografia quântica, que permite o envio completamente seguro de informação entre dois *sites*, baseia-se no entrelaçamento. Pares de fótons entrelaçados por polarização são distribuídos entre Alice e Bob, que querem partilhar uma mensagem secreta (neste caso, uma imagem da famosa Vénus de Willendorf). A medição da polarização de um fóton entrelaçado individual dará um resultado totalmente aleatório. No entanto, se Alice e Bob efectuarem medições segundo a mesma direcção de polarização, os seus resultados serão sempre os mesmos dentro de cada par entrelaçado. Medindo muitos pares, Alice e Bob obtêm a mesma sequência aleatória, que podem depois utilizar como chave secreta. Alice combina a sua chave (em cima, à esquerda) com a fotografia do original (em baixo, à esquerda). A imagem codificada (em baixo, ao centro) está protegida contra potenciais escutas devido à aleatoriedade da chave. Bob, porém, pode facilmente decodificar a mensagem usando a sua chave (em baixo, à direita). É possível detectar um eventual ouvinte indesejado, porque qualquer interferência com os fótons do par entrelaçado destrói o entrelaçamento. Esta é uma consequência do princípio da incerteza e, assim sendo, a segurança da criptografia quântica está garantida. A experiência original que demonstrou este efeito foi realizada em 1998, por uma equipa da Universidade de Innsbruck, a uma distância de mais de 300 metros (*Phys. Rev. Lett.*, 84, 4729).

ses de dados. A ideia fundamental subjacente à computação quântica é a de codificar e processar informação em sistemas físicos, seguindo as regras da mecânica quântica. Uma grande parte da actual investigação é, por consequência, dedicada a encontrar bits quânticos ou “qubits” fiáveis, que poderão estar associados para constituir registos e portas lógicas análogas às existentes nos computadores convencionais, o que iria então permitir a execução de algoritmos quânticos integrais. No entanto, em 2001, Robert Raussendorf e Hans Briegel, então na Universidade de Munique, na Alemanha, sugeriram um caminho alternativo para a computação quântica baseado num “estado aglomerado” de múltiplas partículas altamente entrelaçadas (*Phys. Rev. Lett.*, 86, 5188). Neste sistema, designado por computação quântica de sentido único, um cálculo é realizado através da medição das partículas individuais do estado aglomerado entrelaçado numa sequência específica que é definida pelo cálculo particular a ser executado. As partículas individuais que tenham sido medidas deixam de estar entrelaçadas com as outras partículas e, por consequência, deixam de estar disponíveis para cálculos posteriores. Porém, aquelas que permanecem dentro do estado aglomerado após cada medição acabam num determinado estado, consoante a medição realizada. Como o resultado da medição de qualquer partícula individual entrelaçada é completamente aleatório, diferentes estados são obtidos para as restantes partículas após cada medição. Todavia, só num caso específico é que o estado restante é o correcto. A ideia fundamental de Raussendorf e Briegel foi a de eliminar essa aleatoriedade, fazendo a sequência específica de medições depender dos resultados

anteriores. Assim, todo o sistema representa um computador quântico determinista, no qual as partículas que restam no final de todas as medições transportam o resultado do cálculo.

Em 2005, os autores e seus colegas demonstraram em Viena o princípio da computação quântica de sentido único (ver Figura 3) e até um algoritmo de busca simples, recorrendo a um estado entrelaçado de quatro fótons (*Nature*, 434, 169). Depois, em 2007, Jian Wei-Pan, da Universidade de Ciência e Tecnologia da China, em Hefei, e colaboradores puseram em prática um sistema semelhante envolvendo seis fótons. Uma das grandes vantagens de um computador fotónico de sentido único é a sua velocidade sem precedentes, com o período entre a medição de um fóton e o seguinte, ou seja, um ciclo computacional, não superior a 100 ns.

PERGUNTAS FUNDAMENTAIS

A tecnologia desenvolvida nos últimos 20 anos para tornar realidade o processamento e a comunicação de informação quântica deu aos investigadores um grande controlo sobre os sistemas quânticos individuais. Por exemplo, é agora claro que a computação quântica exclusivamente fotónica é possível, mas exige fontes de fótons únicos e entrelaçados eficientes e muito puras, assim como a capacidade de manipular os estados quânticos de fótons ou de outros

3. Computação quântica de sentido único

Os computadores quânticos, ao processarem a informação através dos estados de sistemas quânticos como os átomos e os fótons, prometem superar os computadores tradicionais em tarefas específicas. Uma tentativa de fazer uma versão prática de um dispositivo deste tipo é o chamado computador quântico de sentido único. Proposto em 2001, este computador baseia-se no entrelaçamento. Numa aplicação fotónica, um laser pulsado atravessa duas vezes um cristal não-linear de beta borato de bário (BBO), para gerar dois pares de fótons entrelaçados, o que significa que os quatro modos espaciais contêm ao todo quatro fótons. A sobreposição coerente nos dois separadores de feixe polarizadores garante que os últimos quatro fótons detectados estão num “estado aglomerado”, se as placas de meia onda e os polarizadores estiverem adequadamente posicionados. Desde 2005, experiências “prova de conceito” com este dispositivo de computador quântico básico permitiram a execução de computações do algoritmo de pesquisa de Grover, de um dilema do prisioneiro quântico e a demonstração da existência de subespaços livres de decoerência (como exigido numa computação quântica reconfigurável em caso de falha).



sistemas quânticos com segurança numa questão de nanossegundos. Os instrumentos necessários a este e a outros projectos estão a ser constantemente melhorados, o que por sua vez abre novos caminhos para explorar as questões profundas suscitadas pela teoria quântica.

Estas questões envolvem, mais uma vez, as noções de localidade e de realismo. Todo o corpo de experiências de Bell e GHZ realizadas ao longo dos anos sugere que pelo menos uma destas duas hipóteses é inadequada para descrever o mundo físico (pelo menos, quando há estados de entrelaçamento envolvidos). Porém, o Teorema de Bell não nos permite afirmar qual das duas deve ser abandonada.

Em 2003, Anthony Leggett, da Universidade de Illinois em Urbana-Champaign, nos EUA, forneceu uma resposta parcial a esta questão, ao apresentar um novo teorema de incompatibilidade, muito dentro do espírito da teoria de Bell, mas com um conjunto diferente de hipóteses (*Found. Phys.*, 33, 1469). A sua ideia era a de deixar cair a hipótese da localidade e perguntar se, nessa situação, um conceito de realismo plausível – designadamente, atribuir uma polarização fixa como uma propriedade “real” de cada partícula num par entrelaçado – será suficiente para reproduzir integralmente a teoria quântica. Intuitivamente, poder-se-ia esperar que influências não locais devidamente escolhidas pudessem produzir correlações arbitrárias. Afinal, se permitimos que os resultados das nossas medições dependam de tudo o que se passa no universo inteiro (incluindo no local do segundo equipamento de medição), por que razão deveríamos esperar uma restrição a estas correlações?

No caso específico de um par de fótons entrelaçados por polarização, a classe de teorias não locais realistas que Leggett se propõe testar preenche os seguintes requisitos: cada partícula de um par é emitida a partir da fonte com uma polarização bem definida; estão presentes influências não locais, de tal modo que o resultado de cada medição individual pode depender de qualquer parâmetro a uma distância arbitrária da medição. As previsões destas teorias violam as desigualdades de Bell originais, devido à influência não local permitida, por isso é natural perguntar se serão capazes de reproduzir todas as previsões da teoria

quântica.

Leggett demonstrou que isso não acontece. À semelhança de Bell, deduziu um conjunto de desigualdades para determinadas medições em duas partículas entrelaçadas que são satisfeitas por todas as teorias baseadas nestes pressupostos não locais realistas específicos, mas que são violadas pelas previsões quânticas teóricas. O teste das desigualdades de Leggett é mais exigente do que o das desigualdades de Bell, porque requer medições de polarização linear e elíptica e um entrelaçamento de qualidade muito superior. Todavia, em 2007, graças aos enormes progressos realizados no domínio das fontes de fótons entrelaçados, os autores e seus colaboradores em Viena conseguiram testar experimentalmente uma desigualdade de Leggett, através da medição das correlações entre as polarizações linear e elíptica de fótons entrelaçados (*Nature*, 446, 871).

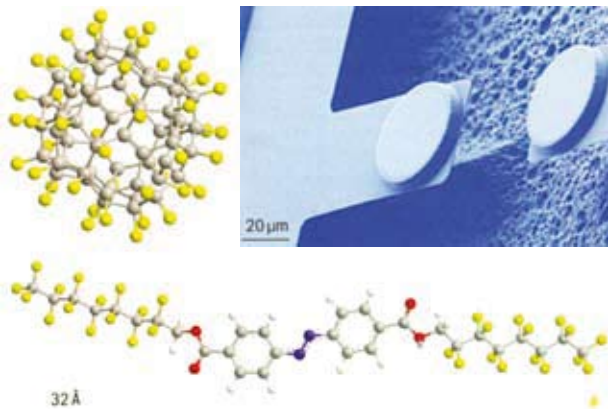
A experiência confirmou as previsões da teoria quântica e excluiu, assim, uma vasta classe de teorias não locais realistas como base conceptual para os fenómenos quânticos. Tal como aconteceu com a evolução das experiências de Bell, rapidamente se seguiram experiências semelhantes à de Leggett, mas mais rigorosas. Por exemplo, experiências independentes realizadas em 2007 pela equipa de Viena (*Phys. Rev. Lett.*, 99, 210406) e por investigadores da Universidade de Genebra e da Universidade Nacional de Singapura (*Phys. Rev. Lett.*, 99, 210407) confirmaram a violação de uma desigualdade de Leggett, ao abrigo de pressupostos menos rigorosos, alargando assim a classe de modelos não locais realistas proibidos. Estas experiências tornam claras duas coisas. Em primeiro lugar, não basta renunciar por completo ao conceito de localidade. Em segundo lugar, é preciso abandonar, pelo menos, a noção de realismo ingénuo de que as partículas têm determinadas propriedades (no nosso caso, polarização) que são independentes de qualquer observação.

LIMITES MACROSCÓPICOS

A estreita interacção existente entre ciência da informação quântica e curiosidade fundamental tem também sido demonstrada através de algumas experiências fascinantes que envolvem partículas de maior massa. Segundo a teoria quântica, não existe um limite superior intrínseco para a dimensão ou a complexidade de um sistema físico, acima do qual deixem de ocorrer efeitos quânticos. É esse o elemento essencial do famoso paradoxo do gato de Schrödinger, que ridiculariza a

4. Experiências quânticas macroscópicas

Através do estudo do comportamento mecânico quântico de objectos cada vez maiores e de maior massa, os investigadores aumentam as hipóteses de se virem a construir computadores quânticos fiáveis ou de se desenvolverem outras aplicações da ciência da informação quântica. O actual recorde mundial para objectos de grande massa que revelam interferência quântica numa experiência do tipo dupla fenda, ou seja, que demonstram comportamento ondulatorio apesar da sua natureza corpuscular, é detido pelas moléculas de fulereno fluoradas C₆₀F₄₈, com uma massa de 1632 unidades de massa atómica (em cima, à esquerda) (*Phys. Rev. Lett.*, 91, 090408). O maior objecto que revela interferência é a molécula de azobenzeno (em baixo) (*Nature Physics*, 3, 711), como foi demonstrado pela equipa de Markus Arndt, da Universidade de Viena. Os ressoadores mecânicos (em cima, à direita) ainda não entraram no regime quântico, mas isso poderá mudar em breve, quando esses objectos forem arrefecidos até ao seu estado quântico fundamental. Este ressoador em particular contém um espelho altamente reflector colocado em cima de um braço vibratório com um grampo único, que pode ser accionado através de pressão de radiação, em combinação com uma cavidade óptica muito fina.



situação, sugerindo uma experiência em que alguém poderia utilizar um gato que está num estado de sobreposição: vivo e morto. Um caso particularmente interessante é a interferência “matéria-onda”.

Demonstrou-se que electrões, neutrões e átomos revelam efeitos de interferência quando passam por uma dupla fenda, provando-se assim que nenhum destes sistemas de grande massa passa por apenas uma ou outra fenda. Um comportamento semelhante foi observado mais recentemente, em 1999, por AZ e colegas em Viena para as moléculas relativamente grandes de fulereno - Carbono-60 e Carbono-70 - (*Nature*, 401, 680). Investigações actualmente em curso demonstraram igualmente a existência de interferência com sistemas ainda mais pesados e maiores (ver Figura 4). Um dos principais objectivos destas investigações é obter interferência quântica para pequenos vírus ou talvez até mesmo para nanobactérias.

Muito recentemente, a capacidade de arrefecer dispositivos nanomecânicos a temperaturas muito baixas abriu uma nova perspectiva para testar sistemas contendo até 10^{20} átomos. Um dos objectivos mais fascinantes das experiências que investigam o regime quântico dos braços mecânicos é demonstrar a existência de entrelaçamento entre um sistema microscópico, como um fotão, e um sistema mecânico - ou mesmo entre dois sistemas mecânicos.

Embora a motivação subjacente ao estudo de sistemas quânticos macroscópicos seja a pura curiosidade, a investigação toca em questões importantes para a ciência da informação quântica. Isso acontece, porque sistemas quânticos cada vez mais vastos e complexos sofrem interações com o meio ambiente, o que é tão importante em termos de macromoléculas e braços como de grandes registos de um computador quântico.

Uma das consequências desta interacção com o mundo exterior é a “decoerência”, através da qual o sistema fica efectivamente entrelaçado com o meio ambiente e, por conseguinte, perde o seu estado quântico individual. Em resultado disso, as medições desse sistema deixam de revelar qualquer assinatura quântica. Encontrar formas de evitar a decoerência é, assim, um tema quente, tanto nas experiências quânticas macroscópicas como na ciência da informação quântica. Com as moléculas de fulereno, por exemplo, o efeito de decoerência foi estudado com grande pormenor, em 2004, associando-as ao ambiente exterior de diferentes maneiras harmoniosas

(*Nature*, 427, 711). De uma perspectiva experimental, não vemos qualquer razão para considerar que a decoerência não possa ser ultrapassada para sistemas muito mais macroscópicos do que aqueles que são actualmente viáveis em laboratório.

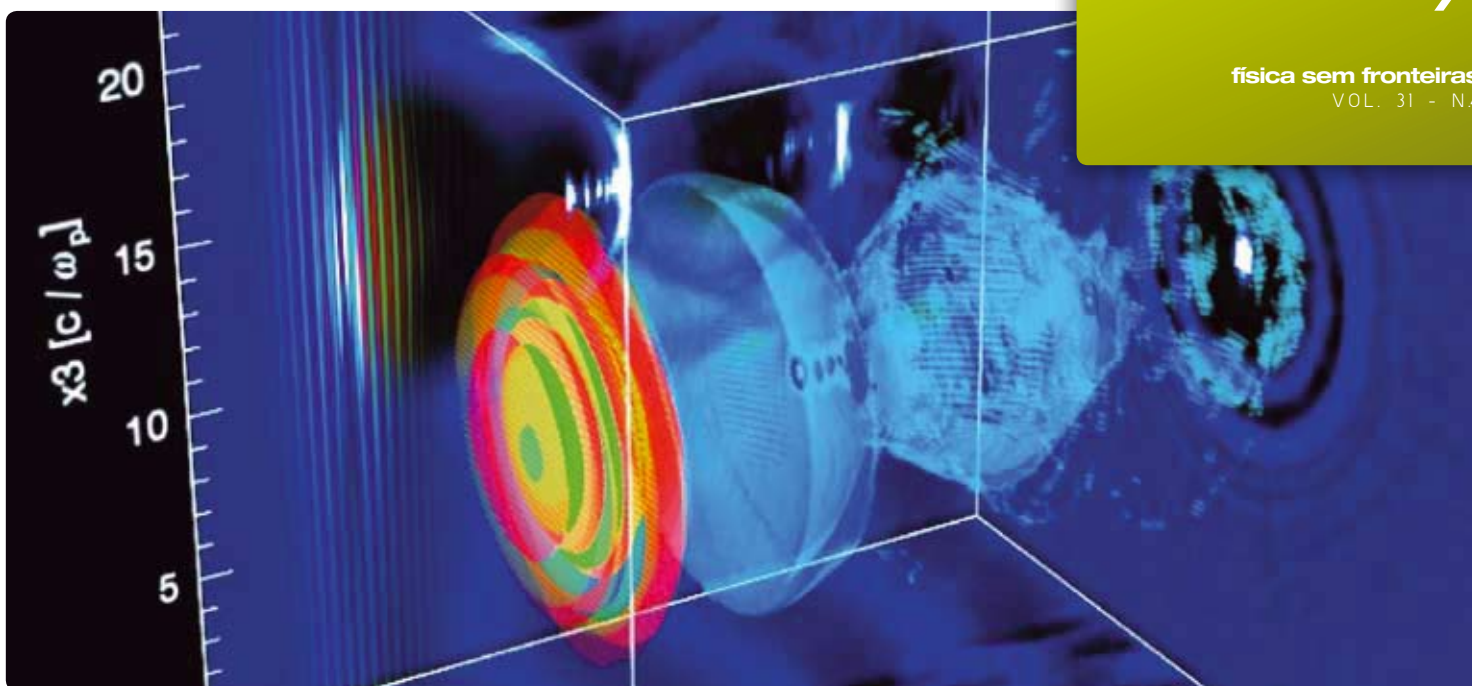
CURIOSIDADE QUÂNTICA

A física quântica e a ciência da informação que ela tem inspirado surgem como duas faces da mesma moeda: por um lado, como inspiração para abordagens conceptualmente novas a aplicações; por outro lado, como uma caixa de ferramentas que permite colocar novas questões fundamentais. Tem acontecido com frequência que as novas tecnologias levantem questões que não tinham sido colocadas antes, simplesmente porque as pessoas não podiam imaginar aquilo que se tornou possível no laboratório.

Um destes casos poderá ser a nossa crescente capacidade de manipular sistemas quânticos complexos que vivem em espaços de Hilbert de elevadas dimensões - o espaço matemático em que os estados quânticos são descritos. A maior parte das perguntas fundamentais conhecidas na teoria quântica recorreu até agora apenas a sistemas relativamente simples, mas dimensões mais elevadas do espaço de Hilbert poderão acrescentar características qualitativamente novas à interpretação da física quântica. Estamos convencidos de que muitas surpresas nos aguardam neste domínio.

Esperamos que os futuros desenvolvimentos teóricos e experimentais lancem mais luz sobre as poucas intuitivas características da teoria quântica que são realmente indispensáveis na nossa descrição do mundo físico. Quando isso acontecer, poderá ser possível perceber melhor a questão fundamental do que é a realidade e de como descrevê-la. A estreita ligação entre a curiosidade básica pelo mundo quântico e a sua aplicação à ciência da informação poderá mesmo produzir ideias para a física que ultrapassem a mecânica quântica.

Markus Aspelmeyer e Anton Zeilinger trabalham no *Institute for Quantum Optics and Quantum Information* (IQOQI). Anton Zeilinger trabalha também na Universidade de Viena sendo um reputado líder internacional na investigação da realidade quântica, e aplicações da Óptica Quântica à Ciência da Informação e Criptografia. Este artigo publicado na *Physics World*, Julho 2008, é publicado na *Gazeta* ao abrigo de um Protocolo assinado entre o IOP (*Physics World*) e a SPF (*Gazeta de Física*).



Muito intenso: simulação numérica da “bolha” criada pela pressão de radiação de um laser ultra.intenso propagando-se num plasma.
Crédito: GoLP/IPFN/IST/Silva

ELI – o deus da Luz

Marta Fajardo e Nelson Lopes

GoLP, Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear,
Instituto Superior Técnico

QUAL É O LASER MAIS POTENTE QUE OS CIENTISTAS PODEM ESPERAR CONSTRUIR? SE CONSEGUIRMOS CONCENTRAR TODA ESSA POTÊNCIA NUM PONTO, CONSEGUIREMOS FAZER NASCER MATÉRIA A PARTIR DA LUZ?

ESTA É UMA DAS 100 QUESTÕES DA CIÊNCIA PARA AS QUAIS, SEGUNDO A REVISTA SCIENCE, DEVEMOS PROCURAR UMA RESPOSTA NAS PRÓXIMAS DÉCADAS.

A resposta pode estar próxima. Um grupo de cientistas, liderado por Gérard Mourou em França, quer fazer deste sonho uma realidade, construindo o ELI, o laser mais potente do mundo, a partir de uma técnica que permite concentrar energias extremas em durações infinitesimais. As suas previsões mostram que, focando o ELI num ponto

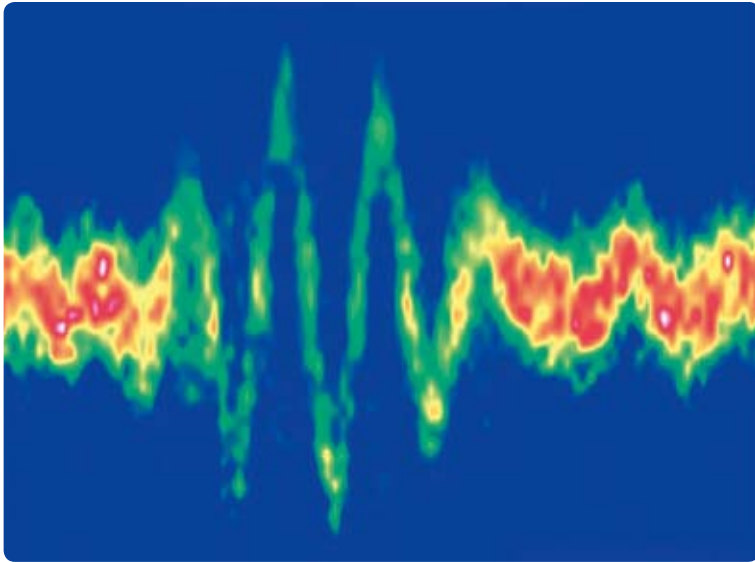
mais pequeno do que um milésimo de uma cabeça de alfinete, a densidade de energia será tal que começaremos a “ferver o vácuo”, fazendo nascer matéria e anti-matéria, como no início dos tempos.

Não é por acaso que o laser foi baptizado ELI – expressão que, além de representar a sigla para Extreme Light Infrastructure (Infraestrutura de Luz Extrema), significa também “Deus” em hebraico.

O INÍCIO

Uma vez traçado o objectivo, foi necessário passar aos planos concretos. Como realizar o laser mais potente do mundo? Quanto irá custar? Como o vamos financiar? Vamos mesmo conseguir “ferver vácuo” com as tecnologias laser actuais? E o laser “só” servirá para isso ou permitirá desbravar novas fronteiras da Ciência?

Para responder a estas questões, o Fórum Europeu de Estratégias para Infraestruturas de Investigação, ou ESFRI (European Strategy Forum on Research Infrastructures), deu o embalo necessário. Esta entidade foi criada para desenvolver uma política integrada de desenvolvimento das infraestruturas de investigação, a nível europeu. Em Outubro de 2006, o ESFRI apresentou um documento



Ultra-rápido: a imagem mostra a visualização directa do campo eléctrico da luz visível e constitui a medição mais rápida alguma vez realizada (Science, 27 de Agosto de 2004) Crédito: Eleftherios Goulielmakis

(roadmap) em que identificou as novas infraestruturas em que a Europa deverá apostar nos próximos 10 a 20 anos, para que se posicione como líder na investigação mundial. E uma das escolhidas foi precisamente o ELI.

O projecto passou então de um sonho de alguns investigadores entusiastas a uma equipa de trabalho envolvendo mais de uma centena de cientistas, gabinetes técnicos e jurídicos. Durante três anos, esta equipa trabalhará em conjunto para resolver todas as questões necessárias para que o ELI possa começar a ser construído em 2012. Esta é a fase em que nos encontramos actualmente: a do ELI-PP ou ELI-*Preparatory Phase*.

O LASER ELI

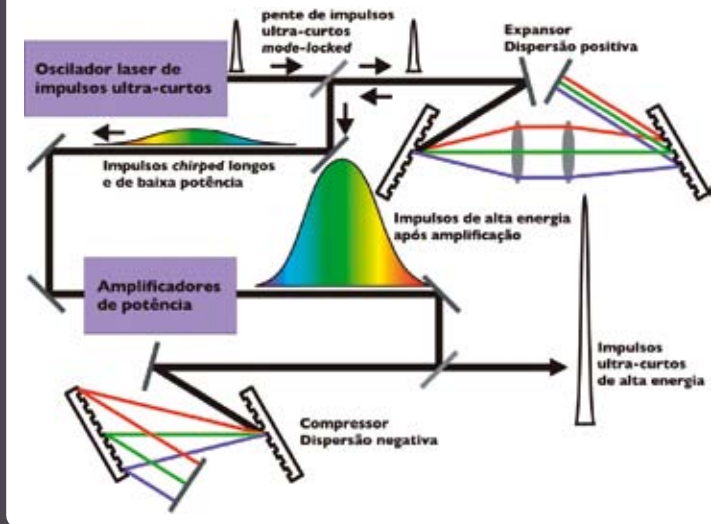
Mas que forma tomará um laser suficientemente intenso para fazer nascer matéria da luz? Os físicos teóricos calculam que para que se observem estes efeitos, no chamado regime “ultra-relativista”, será preciso alcançar uma potência luminosa de 100 petawatts (100×10^{15} Watts). Este valor é incrivelmente elevado – para termos um termo de comparação, hoje em dia os lasers mais potentes atingem valores da ordem de 1 petawatt; e só isto já representa dez vezes a potência de todas as centrais nucleares do planeta em conjunto. Como será então possível? O “segredo” está na definição de potência: de facto, é uma medida da energia gerada por unidade de tempo. As centrais eléctricas têm que produzir quantidades enormes de energia em contínuo. Mas os lasers acumulam uma quantidade modesta de energia durante algum tempo e libertam-na numa fracção de segundo, como o *flash* de uma máquina fotográfica. Estes *flashes* de luz atingem intensidades extremamente elevadas mas não por muito tempo: apenas alguns femtosegundos, isto é, milésimos de bilionésimo de segundo, ou o tempo que a luz demora a percorrer alguns micrómetros.

Quando pediram a Charles H. Townes, prémio Nobel e inventor do maser (o “laser de microondas”) que desse uma definição do laser, este disse que era “a luz que ilumina

a direita”. Este é o outro “segredo” que permitirá gerar intensidades luminosas nunca antes alcançadas, num minúsculo ponto do espaço e do tempo. Com efeito, a luz laser não se espalha por todas as direcções, mas forma um pacote de luz que viaja em conjunto numa direcção precisa – a direita. Podemos disparar um laser para a lua e ver ao telescópio o pontinho luminoso na superfície – isso já foi feito! Esta propriedade da luz laser, a sua coerência, é também a que nos permite desenvolver sistemas ópticos em que obrigamos todo um feixe luminoso a concentrar-se num ponto tão pequeno como o comprimento de onda da luz. Na região do infravermelho, adoptada pela tecnologia padrão actual, isto representa um foco de apenas alguns micrómetros. Segundo as especificações actualmente definidas para o ELI, conseguiremos concentrar uma energia de 3600 Joules num volume de um micrómetro cúbico. Com uma densidade tal de energia – sob forma de luz – concentrada num ponto do espaço-tempo, esperamos então começar a ver surgir matéria e anti-matéria a partir do vácuo.

AS FONTES SECUNDÁRIAS

O ponto de partida – a fase ELI-PP – consiste no estabelecimento de um programa científico detalhado. Este contempla não só a obtenção de intensidades ultra-elevadas mas também um vasto programa de desenvolvimento e utilização das chamadas *fontes secundárias*: trata-se de uma vasta gama de fontes de partículas e radiação que podem ser produzidas utilizando um ou mais dos doze feixes laser que formarão o ELI. Esta versatilidade vai permitir a utilização combinada destas fontes e dos feixes laser em experiências únicas. Presentemente trabalha-se na definição destas fontes secundárias que compreendem, para já, a geração de impulsos coerentes de radiação ultravioleta e raios-x com duração de attosegundos (10^{-18} s), lasers de raios-x de elevada energia, feixes de electrões produzidos por interacção laser-plasma, a aplicação destes à geração de radiação por lasers de electrões livres e a geração de feixes de prótons e iões por interacção laser-matéria. Para que servem estas fontes ditas “secundárias”? Estas novas fontes de radiação e partículas produzidas por lasers intensos tem algumas aplicações óbvias, estando algumas já testadas, e têm um enorme potencial para novas aplicações, porque com o actual e futuro desenvolvimento dos lasers poderão tornar-se em fontes compactas, dispensando a prazo grandes instalações. Todo este potencial torna-as, tal como o próprio laser foi apelidado nos anos 60, em “soluções à procura de problemas”. No entanto, a intensa actividade nesta área da ciência está a abordar já alguns destes problemas, para os quais a tecnologia actual já



Esquema óptico simplificado de um laser CPA

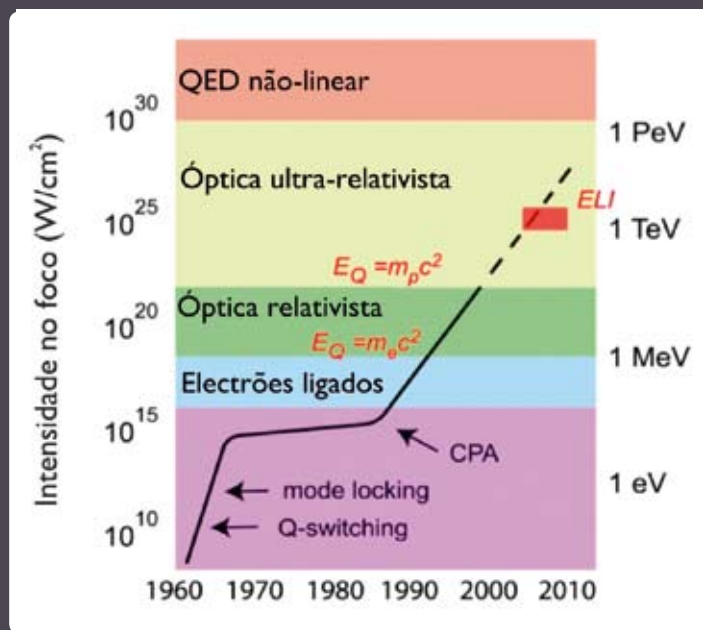
Os impulsos laser ultra-curtos são produzidos por um tipo específico de laser chamado oscilador *mode-locked*. Estes impulsos têm um banda espectral larga, e ao passarem por um percurso óptico com dispersão (por exemplo, criado com pares de redes de difração ou prismas) as diferentes frequências vão desfazer-se, criando um efeito de trinado – uma distribuição das diversas “cores” pelo tempo – e aumentando a duração do impulso. Na técnica CPA, assim que o impulso sai do oscilador a sua duração é aumentada (e, conseqüentemente, a potência diminuída) por um factor de cerca de dez mil, num componente do laser chamado *expansor*, baseado em redes de difração. A isto segue-se a amplificação, de forma segura, numa cadeia de amplificadores de potência, onde a energia cresce enquanto as diferentes frequências se mantêm espaçadas. Finalmente, quando se atinge a energia desejada, as frequências são outra vez sobrepostas, e a duração diminui até próximo da inicial. Este processo tem lugar no elemento chamado compressor, que consiste igualmente num par de redes de difração, mas com uma dispersão oposta à do expansor. Nos lasers de alta potência o compressor é colocado em vácuo uma vez que a propagação no ar degradaria os impulsos comprimidos. Estes são por fim propagados até ao alvo e focados utilizando unicamente elementos ópticos reflectores com revestimentos dieléctricos multi-camadas de alta resistência.

pode oferecer soluções.

Por exemplo, com impulsos de attosegundos podemos medir, interferir e até controlar processos electrónicos em superfícies, moléculas ou átomos. Além disso, os impulsos de attosegundos podem ser a porta para intensidades ainda mais elevadas, se forem desenvolvidas técnicas de amplificação de energia. Com os impulsos de raios-x intensos produzidos em lasers de plasmas, ou em lasers de electrões livres, podemos tirar fotografias ultra-rápidas de processos envolvendo matéria muito densa (opaca à radiação visível), como, por exemplo, os alvos de fusão nuclear comprimidos.

CPA: A REVOLUÇÃO LASER DOS ANOS 90

A amplificação de impulsos laser de muito curta duração não é possível, porque rapidamente se atingem intensidades demasiado elevadas que acabam por danificar os elementos ópticos dos amplificadores. Além disso, a simples propagação em meios materiais, como o vidro ou o mesmo o ar, dá origem a efeitos não lineares que destroem as boas propriedades do impulso. A revolucionária técnica *Chirped Pulse Amplification* (CPA, ou amplificação de impulsos com trinado), desenvolvida nos anos 80 por Gérard Mourou – o coordenador do projecto ELI – veio resolver este problema de forma elegante. Esta técnica é esquematizada na Figura 2.



Evolução da intensidade (potência a dividir pela área do foco) dos lasers pulsados

No programa ELI pretende-se levar a técnica CPA ao extremo produzindo até doze impulsos laser com potências superiores a 100 Petawatt (10^{17} W), que podem ser sobrepostos em fase sobre um alvo atingindo intensidades superiores a 10^{25} W/cm², bem dentro do chamado regime ultra-relativista.

Podemos também utilizar essa luz intensa para transportar energia com precisão para dentro dessa matéria densa. Existe ainda a aplicação evidente destes impulsos como diagnóstico médico de elevada precisão. Com os feixes de electrões, produzidos em aceleradores laser-plasma ultra-compactos, temos acesso a feixes de partículas relativistas com correntes elevadas para aplicações como os lasers de electrões livres, onde a corrente é um parâmetro essencial. O futuro desenvolvimento de lasers intensos de alta taxa de repetição (talvez um ELI 2), poderá mesmo vir a permitir a geração de feixes de electrões para a física das altas energias. Por fim, com os feixes de protões ou iões produzidos na interacção de lasers intensos com

[1]Science 309, 78 (1 Jul. 2005)

folhas sólidas, poderemos depositar energia dentro de corpos sólidos com elevada precisão, tal como em tratamentos oncológicos ou em alguns processos industriais. Podemos ainda produzir corantes radioactivos para usar em diagnósticos médicos, tirar radiografias de objectos densos, produzir feixes de neutrões a serem utilizados em testes de materiais, e fazer a transmutação da matéria, que pode ser aplicada em técnicas de tratamento de resíduos radioactivos.

No ELI-PP definem-se também as especificações para os feixes laser necessários. Uma vasta equipa de “laseristas” planeia já como se pode levar a tecnologia CPA (ver caixa) a um nível sem precedentes, aumentando em mais de duas ordens de grandeza não só a potencia máxima mas também o contraste dos impulsos mais potentes produzidos actualmente. Também a qualidade e reprodutibilidade dos impulsos laser terá de superar o actual estado-da-arte, de modo a que as fontes secundárias tenham a qualidade necessária para passarem do desenvolvimento às aplicações, como se pretende neste projecto.

Com a especificação das fontes secundárias e do programa científico, foi também possível definir um conjunto de espaços experimentais com características próprias a implementar na futura instalação. O passo seguinte será a previsão da radiação presente nestes espaços e a elaboração de um plano de protecção radiológica adequado: de facto, a intensidade sem precedentes e uma elevada taxa de repetição dos disparos do ELI colocarão novos problemas de protecção radiológica, cuja resolução exigirá um grande esforço tecnológico e organizacional só possível numa grande instalação. Por fim, o projecto da instalação será iniciado assim que termine a fase preliminar da protecção radiológica, e deverá estar concluído no final de 2010.

Mas a fase preparatória incluirá ainda muitas outras tarefas, tais como a escolha da localização da instalação (até ao final de 2008), a sensibilização de possíveis utilizadores das novas fontes de radiação e partículas disponíveis no ELI, o apoio à formação avançada dos recursos humanos necessários a este programa, bem como a organização de reuniões científicas no âmbito do programa ELI. Serão três anos de trabalho intenso do qual resultará a completa definição daquele que será o mais potente laser alguma vez construído.

A PARTICIPAÇÃO PORTUGUESA NO ELI-PP

Luís Silva do Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear, Laboratório Associado, é o interlocutor do projecto ELI-PP em Portugal. Nelson Lopes coordena o grupo de trabalho que irá definir as fontes de radiação (laser, raios-x, raios-gama) e partículas anexas (protões, iões) que se poderão oferecer para os utilizadores em 2013. O resultado deste trabalho irá condicionar as escolhas de construção da infraestrutura final, em termos de *beamline* ou salas de experiências dedicadas, e em termos de protecção radiológica necessária. Marta Fajardo é a coordenadora do programa de Redes Internacionais e Comunicação. A seu cargo ficará a agregação da comunidade de potenciais utilizadores deste novo laser, que deverá ir desde os tradicionais experts em plasmas e fotónica, até às comunidades de nanotecnologias, materiais, biologia estrutural, astrofísica e física das partículas, pouco habituadas a trabalhar com lasers actualmente. Este será um dos grandes projectos europeus do futuro e necessitará de mais de quatrocentos cientistas e engenheiros altamente qualificados. Se és um estudante de Física e/ou engenharia e gostas de ciência e engenharia extremas podes juntar-te a esta aventura.



Marta Fajardo licenciou-se em Engenharia Física Tecnológica no Instituto Superior Técnico em 1997, e doutorou-se pelo Instituto Superior Técnico e pela Ecole Polytechnique em França em 2001. Foi Investigadora Pós-Doutorada pelo Centre National de Recherche Scientifique em 2002 no Laboratoire d'Optique Appliquée em França, tendo regressado para o Centro de Física dos Plasmas em 2003 como bolsista da Fundação para a Ciência e Tecnologia. É desde 2005 Investigadora Auxiliar no Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear, Laboratório Associado do Instituto Superior Técnico, na área de Lasers de Raios-X e aplicações.

Nelson Lopes é investigador do Grupo de Lasers e Plasmas do Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear, Instituto Superior Técnico. Presentemente desenvolve aceleradores de electrões utilizando a interacção de lasers intensos com plasmas. Desde Fevereiro de 2008 coordena o grupo de trabalho do projecto ELI-PP que tem por objectivo definir as fontes de radiação e partículas a desenvolver e instalar no âmbito deste projecto.





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/>)



Planck com o filho Erwin num passeio pelas montanhas

Equilíbrio impossível: Max Planck no período do Terceiro Reich

Ana Simões

MAX PLANCK NASCEU EM 1858. DAÍ QUE ESTE ANO SE TENHAM ORGANIZADO VÁRIAS CELEBRAÇÕES EM TORNO DA FIGURA DESTES GRANDES FÍSICO ALEMÃO. FOI, TAMBÉM, TENDO ESTA EFEMÉRIDE EM MENTE QUE OPTEI POR DEDICAR A PLANCK OS TRÊS ARTIGOS DA RUBRICA “FÍSICA E SOCIEDADE” DE 2008.

No primeiro falei de Planck na sua relação com a física na pujante cidade de Berlim, no segundo discuti a complexa introdução dos quanta na física e,¹ finalmente, no último proponho-me abordar aspectos da permanência de Planck em Berlim e do seu papel no Terceiro Reich.

Dizia no primeiro artigo que “a união crescente a uma cidade, para que se mudou definitivamente aos 31

anos, a ligação filial a um país, à ciência alemã e a tudo o que para ele esses elos de mais caro significavam, pode ajudar-nos a entender o dilema último de Planck: não ter abandonado Berlim no período do Terceiro Reich e ter acabado por ceder ao inferno de Hitler.”²

Em 1933, quando a descida aos infernos começou, Planck completara 75 anos de idade. Prémio Nobel (1918) há mais de uma década, era então um respeitado patriarca da física, reconhecido nacional e internacionalmente como tal, líder e organizador da comunidade científica, calmo, ponderado, conservador, homem de princípios e inabalável defensor da liberdade da ciência e do relacionamento entre cientistas oriundos de vários países, quer estes se encontrassem ou não em guerra. Podemos afirmar que era, então, o representante incontestado não só da ciência berlinense como da ciência alemã. A sua vida científica atravessara já etapas tão diversas politicamente quanto o tinham sido os períodos do império germânico, da Primeira Guerra Mundial e da República de Weimar. Herdara do período imperial uma postura patriótica conservadora, cumpridora da ordem social estatal, um sentido de dever prussiano e o ideal alemão de justiça e



Ao lado : Planck assiste a cerimônia ao lado de nazis e Planck numa inauguração em 1935, em que se observa na segunda versão o tratamento fotográfico com eliminação de representantes nazis (Imagens da biografia de John Heilbron⁹). Ao centro destas páginas: Planck na biblioteca da sua casa. (Créditos AIP)

ordem.³ E estes valores permitem, talvez, entender por que é que, ao contrário de Albert Einstein, Planck que sempre foi tão cauteloso nas suas afirmações públicas sobre política, tivesse assinado, durante a Primeira Guerra Mundial, o terrível “Apelo ao Mundo Civilizado,” em que noventa e três membros da elite intelectual alemã legitimavam o militarismo galopante da Alemanha enquanto escudo protector da sua cultura. O desconforto que Planck sentira no período da República de Weimar, que este “republicano da razão”⁴ tinha dificuldade em entender, não o impedira de continuar então a insistir na importância da ciência como fonte de cultura. Mas esperava- o uma provação última perante os desafios políticos extremos colocados aos cientistas com a ascensão do nazismo. Ao permanecer em Berlim teve que pactuar com as autoridades nazis mas também foi autor de actos de coragem. Entre a autonomia e a acomodação, o equilíbrio foi sempre instável, impossível mesmo! Na *Autobiografia intelectual* que escreve pouco antes de morrer, e que já será publicada postumamente, nunca se refere às suas intervenções no campo da política científica que não se circunscreveram ao período nazi. Assim, aparece-nos erroneamente como um físico isolado do mundo que deste período negro menciona apenas a sua dedicação como orador, proferindo qual pregador palestras um pouco por todo o lado.⁵ A verdade é que à medida que ia envelhecendo apostou em reflexões públicas, em colóquios, entrevistas, artigos de divulgação em revistas e jornais, em que explanava as suas ideias sobre aspectos filosóficos, epistemológicos e ideológicos da física e da ciência em geral, uma manifestação da sua crença no valor cultural da ciência.

Sabemos que os seus valores éticos e sentido apurado de dever o levaram constantemente a aceitar variados cargos administrativos e funções públicas em prol da física e da ciência, tanto mais que considerava que esta era a forma mais eficaz de promover a coesão e o dinamismo da comunidade científica. A lista de cargos que ocupou é impressionante. Mencionarei apenas alguns: foi membro da Sociedade Alemã de Física, pertenceu ao seu corpo directivo por mais de três décadas, e foi seu presidente (entre 1905 e 1908 e no ano 1915-1916),⁶ tendo sido editor da reputada revista *Annalen der Physik*; foi reitor da Universidade de Berlim (1914-1915), foi secretário permanente da Academia das Ciências da Prússia entre 1912 e 1938 e, em 1930, assumiu ainda a presidência da Sociedade Kaiser Wilhelm para a Promoção da Ciência, cargo que manteve até 1937. Foi um



dos principais motores da criação do Instituto Kaiser Wilhelm de Física, cujo edifício foi inaugurado no ano terrível de 1938, a que atribuiu as funções de uma verdadeira “arca de Noé” capaz de, através do dilúvio nazi, levar a bom porto a física alemã.⁷ O prestígio de Planck metamorfoseou-o no símbolo por excelência da ciência alemã nas primeiras décadas do século XX. E, por isso, acabou por permitir que o regime nacional-socialista o usasse nesse sentido e até como exemplo “do tipo ideal germânico”.⁸ Ao ponto de tolerar que, em 1942, o Ministério da Propaganda de Goebbels fizesse um filme sobre ele para o Arquivo de Celebidades (Filmarchiv der Persönlichkeiten). É verdade que, apesar de obedecer à proibição de não mencionar o nome de Einstein, não se coibiu então de elevar a teoria da relatividade aos píncaros da física teórica, tal como fazia frequentemente nos seus discursos sobre ciência.

Como qualquer cientista com cargos públicos oficiais que optasse por permanecer em Berlim, Planck teve que pactuar com situações nefandas que incluíram fazer a saudação a Hitler ou terminar certo tipo de correspondência com oficiais nazis com um “Heil Hitler!”, tratar com deferência líderes nazis, enviar respeitosos telegramas ao Führer, proferir conferências em salões adornados de cruces suásticas, não se referir nunca nos seus discursos explicitamente a Einstein, Emil Warburg ou a quaisquer cientistas judeus. Como presidente da Academia das Ciências e da Sociedade Kaiser Wilhelm teve que se livrar, já entrados os anos de 1937 e 1938, dos membros não-arianos destas instituições. Fê-lo depois de ter defendido a independência destas instituições quando muitas já tinham sucumbido, mas ainda assim não evitou a catástrofe final. E depois apresentou a sua demissão.

Provavelmente em Maio de 1933, manteve um “tête à tête” com Hitler. Planck pretendia interceder a favor do seu amigo judeu Fritz Haber, descobridor da síntese da amónia a partir do azoto atmosférico, tão importante na Grande Guerra e, mais geralmente, convencer o “führer” que muitos judeus eram bons alemães e que a expulsão de cientistas judeus acabaria por liquidar a ciência alemã. Hitler terá replicado:

“não tenho nada contra os judeus. Mas os judeus são todos comunistas, são meus inimigos e contra eles faço a guerra.” Ao que se seguiu um típico ataque de fúria.⁹

Apesar da sua participação em acontecimentos tão indignos como os acima mencionados, Planck não foi um colaborador nazi. Aliás o seu estatuto de figura cimeira da física alemã tornou-o personagem incómoda para o desenvolvimento do projecto de uma “física ariana” dos dois prémios Nobel da física Philipp Lenard (1905) e Johannes Stark (1919). Críticos da física judaica, que definiam com teórica, abstracta, matemática, dogmática, artificial e não intuitiva, eram os arautos de uma verdadeira “física alemã”. Se Einstein era o expoente e a relatividade a expressão máxima da física não-ariana, até Werner Heisenberg lhes mereceu o epíteto de “judeu branco”.

Foi especialmente em ocasiões comemorativas que Planck conseguiu fazer frente ao regime. Referirei apenas dois exemplos. Em 1935, Planck decidiu organizar uma cerimónia de homenagem a Fritz Haber, um ano após a sua morte. Haber tinha sido o primeiro director do Instituto Kaiser Wilhelm de Química-Física e de Electroquímica até se recusar a recorrer à isenção governamental que permitia aos judeus que tinham servido na Primeira Guerra Mundial reterem os seus lugares como funcionários públicos. Acontece que Haber não estava disposto a obedecer à “tradição” nazi que seleccionava colaboradores científicos em função da sua raça e não da sua competência. Haber optara por emigrar, morrendo poucos meses depois. Contra a expressa oposição do Ministro da Educação, Planck manteve-se inabalável na sua determinação de homenagear o amigo de sempre. E apesar dos funcionários públicos estarem expressamente proibidos de assistir à cerimónia, esta decorreu condignamente num auditório quase cheio.

Por ocasião da celebração dos seus oitenta anos, Planck decidiu atribuir a Louis de Broglie, por razões não exclusivamente científicas, a medalha Planck. Esta era uma dupla afronta contra a ideologia nazi e a física ariana, pois de Broglie não só era francês como

era um físico teórico. Nessa ocasião, Planck decidiu ainda referir dois dos seus estudantes. Um foi Max von Laue, que demonstrou constantemente grande coragem cívica face aos nazis e de quem Einstein disse ter sido dos poucos que permaneceu decente no período do nacional-socialismo. O outro foi o positivista lógico Moritz Schlick, um crítico das concepções de ciência de Planck e da ideologia nazi. Planck pensou ingenuamente que podia usar o regime nacional-socialista, mas foi acima de tudo usado por ele. Não admira pois que John Heilbron, um dos biógrafos de Planck, tenha afirmado que no período nazi Planck tinha, como sempre, actuado em conformidade com a sua visão do mundo mas que, desta vez, esta não lhe permitira escapar com a honra intacta.¹⁰

À consciência do beco sem saída em que se encontrava à medida que a guerra avançava, acresceram situações particularmente sombrias. Em Fevereiro de 1944, a casa de Planck ardeu na sequência de um ataque aéreo, com toda a biblioteca e os seus documentos: diários, cadernos de apontamentos, correspondência e publicações. Um ano depois, o seu grande confidente Erwin, o filho mais novo do seu primeiro casamento e único sobrevivente dos quatro que tinha tido com a primeira mulher, é acusado de participar no atentado de 20 de Julho de 1944 contra Hitler e é sumariamente assassinado.

Apesar de tudo isto, Planck ainda arranjou forças para se deslocar a Londres na primavera de 1946 para participar numa homenagem a Isaac Newton na Royal Society e, assim, tentar salvar a imagem danificada da Alemanha e da sua cultura. Foi o único alemão presente nesta cerimónia. E de mais uma vez assumir a presidência da Sociedade Kaiser Wilhelm no período imediato do pós-guerra, quando as forças de ocupação discutiam o seu encerramento. O que nunca chegou a acontecer pois esta sociedade acabou por ceder o seu lugar à nova Sociedade Max Planck.¹¹ Sinal de que os tempos sombrios por que passou e as concessões que fez ainda assim não permitiram que a reputação científica, integridade moral e prestígio internacional de Planck saíssem lesados.¹²



Ana Simões é Historiadora das Ciências e Professora da Universidade de Lisboa. Coordena também o Pólo de Lisboa do Centro Interuniversitário de História das Ciências e da Tecnologia, que agrega investigadores da Universidade de Lisboa e da Universidade Nova de Lisboa.

¹ Ana Simões, “Impressões de uma cidade renascida: Berlim, física e Max Planck,” *Gazeta de Física* 31 (1/2) (2008), 13-16; Ana Simões, “Max Planck (1858-1947), um revolucionário conservador,” *Gazeta de Física* 31 (3) (2008), 7-11.

² Ana Simões, “Impressões de uma cidade renascida”, op.cit. (1), 13.

³ Dieter Hoffmann, “Planck, Max”, *New Dictionary of Scientific Biography*, 6 (2008), 111-115, 113.

⁴ Ibid.

⁵ Max Planck, “A scientific autobiography”, in *Scientific autobiography and other papers* (Nova Iorque: Philosophical Library, 1949), pp. 13-51.

⁶ Para uma análise de aspectos da vida desta sociedade no período nazi consultar Dieter Hoffmann, “Between autonomy and accommodation: the German Physical Society during the Third Reich,” *Physics in Perspective* 7 (2005), 293-329.

⁷ John Heilbron, “In shipwreck,” in *The dilemmas*

of an upright man. Max Planck and the fortunes of German science (Berkeley: University of California Press, 1986), pp. 149-203, secção intitulada “The ark”, pp.175-179.

⁸ Heilbron, “In shipwreck,” op.cit. (7), p. 189.

⁹ John Heilbron, “Afterword, 2000,” in *The dilemmas of an upright man. Max Planck and the fortunes of German Science* (Harvard: Harvard University Press, 2000), 2ª edição, pp. 205-219, p. 210. Heilbron discute as opiniões divergentes de historiadores da ciência sobre o conteúdo e resultado da conversa com Hitler e o seu significado em termos das cedências feitas por Planck e da sua hipotética colaboração com o regime nacional-socialista.

¹⁰ Heilbron, “Afterword,” op.cit. (9), p. 217.

¹¹ Peter Debye, a quem o historiador Dieter Hoffmann apelidou de “cientista típico em tempos atípicos”, ao discutir as acusações de colabora-

cionismo feitas ao físico holandês por alguns historiadores das ciências, já tinha conseguido inaugurar em 1938 o novo instituto de que seria director, baptizando-o, contra as maquinações de Lenard e de Stark, com o nome Instituto de Física Max Planck em vez de Instituto Kaiser Wilhelm de Física.

¹² Max von Laue, “Memorial Address,” in *Scientific autobiography and other papers* (Nova Iorque: Philosophical Library, 1949), pp. 7-11. Laue terminou o seu discurso fúnebre afirmando simplesmente que uma das coroas, a mais singela que se encontrava no recinto, tinha sido colocada por ele em nome de todos os alunos de Planck, “entre os quais me conto, como símbolo precíval do nosso afecto e gratidão sem limites.”

O Quantum de Consolação: consola ou não?

Jim Al-Khalili (Tradução: Tânia Rocha)

NOUTRO DIA FUI VER O NOVO FILME DE BOND COM A MINHA FAMÍLIA. COMO SERIA DE ESPERAR, É UM FILME DE ACÇÃO A GRANDE VELOCIDADE DO PRINCÍPIO AO FIM, E COM MUITO ESTILO.

Mas fiquei desiludido com a ausência das engenhocas altamente tecnológicas que se tornaram a imagem de marca dos filmes de James Bond ao longo dos anos, desde vilões malévolos que ameaçavam destruir a Terra a partir do espaço com lasers gigantes, a carros de Bond que ficavam invisíveis ao premir um botão (o que até tem a ver com as propriedades ópticas de alguns materiais inteligentes em estudo hoje em dia) ou apenas canetas que disparavam dardos venenosos ou relógios que eram mini-computadores. A verdade é que parte da tecnologia dos filmes de Bond das décadas de 1960 e 1970 é comum nos nossos dias. Porém, o último filme de Bond baseia-se muito mais nas perseguições rápidas e em sequências de luta.

Seja como for, existe um aspecto do novo filme que é fascinante e que o transforma num assunto plausível para esta crónica: o título, "The Quantum of Solace". Quando o título foi anunciado há uns meses, alguns jornalistas perguntaram-me o seu significado. Respondi que era a mais pequena unidade de consolação ou alívio, uma metáfora inspirada na teoria quântica do mundo subatómico, onde um quantum de energia electromagnética, por exemplo, é a porção mais pequena em que esta se pode dividir: um único fotão.

O que aqui está em causa não é a pequenez desta unidade, mas antes o seu carácter discreto. Isto é, até 1900, quando Max Planck teve esta ideia, pensava-se que toda a energia era



Cortesia de Jim Al-Khalili

contínua e podia assim subdividir-se infinitamente. A ideia de que está "quantizada", ou seja "em grumos", era revolucionária, e conduziu ao desenvolvimento da teoria atómica de Niels Bohr, em que os electrões podem dar saltos quânticos de uma orbital do átomo para outra. Aqui, um salto quântico não é a mais pequena transição que um electrão pode fazer, mas antes uma transição de energia discreta fixa. Os electrões não podem dar saltos com energias arbitrárias.

Resta saber, é claro, se os milhões de fãs de James Bond se interessam pelos saltos quânticos nos átomos. Duvido. Mas o que eu quero dizer é que para que as histórias, ideias e conceitos da ciência cheguem ao público é preciso um "gancho", alguma maneira de iniciar a discussão. Por isso, o facto de o novo filme da saga Bond ter a palavra "quantum" no título é uma grande oportunidade. Apenas precisamos de ter algum cuidado para não desmotivar as pessoas com demasiados pormenores técnicos. Afinal de contas, não é nada fácil um assunto ser tão fixe e atraente como James Bond (bem, quanto ao segundo adjectivo, pelo menos é o que diz a minha mulher!). Mostrar às pessoas que a ciência pode ser fixe e estimulante é uma excelente maneira de entusiasmar os jovens a interessarem-se mais por ciência na escola. Pode mudar atitudes, começando por consolar os que possam sentir-se infelizes com a aridez de algumas aulas. É fundamental que inspiremos a próxima geração de cientistas e engenheiros, e se o 007 puder dar uma ajuda, aceitá-la-ei de bom grado.

Jim Al-Khalili é professor de Física na Universidade de Surrey, Inglaterra, onde lecciona também uma nova disciplina sobre envolvimento público na ciência. O seu *site* na Internet é: www.al-khalili.co.uk

EU NÃO SABIA ONDE FICAVA MIUZELA. DESDE AGOSTO PASSADO QUE JÁ SEI: É UMA ALDEIA NO INTERIOR PROFUNDO DE PORTUGAL, NO CONCELHO DE ALMEIDA, DISTRITO DA GUARDA. FUI LÁ POR SER MIUZELENSE UM DOS FÍSICOS PORTUGUESES MAIS NOTÁVEIS DO SÉCULO XX, JOSÉ PINTO PEIXOTO (1922-1996), PROFESSOR DA UNIVERSIDADE DE LISBOA E ESPECIALISTA EM GEOFÍSICA.



DE MIUZELA Para o Mundo

Carlos Fiolhais

Peixoto doutorou-se no MIT (de facto, a defesa da tese foi em Lisboa, mas quase todo o trabalho foi feito no MIT) e trabalhou mais tarde em Princeton. Um dos seus colegas e amigos do MIT foi o físico norte-americano Edward Lorenz (1918-2008), o autor de uma célebre formulação da teoria do caos, segundo a qual o bater das asas de uma borboleta pode originar um tornado no Texas. A tese de Peixoto, “Contribuição para o Estudo da Energética da Circulação Geral da Atmosfera”, foi submetida no ano de 1958, que foi declarado pelas Nações Unidas Ano Geofísico Internacional (passadas cinco décadas, 2008 é o Ano Internacional da Terra). O geofísico português foi o autor de um dos primeiros modelos sobre o movimento global da atmosfera, proposto na mesma altura em que no Hawaii, sob a direcção de outro norte-americano, Charles Keeling, começavam as observações sistemáticas das emissões de dióxido de carbono que constituem um grande suporte experimental para os conceitos de efeito estufa e de aquecimento global.

Na escola primária de Miuzela, num dia muito quente, falei para as pessoas da terra sobre o aquecimento global, para o que me preparei com base no manual de Peixoto e Oort “Physics of the Climate”, publicado em 1992 pelo American Institute of Physics, e dos seus artigos de divulgação na Scientific American e na Recherche. Se o famoso Professor fosse vivo (faleceu inesperadamente um ano antes do tratado de Quioto) seria hoje famosíssimo pois os média não cessariam de lhe fazer perguntas sobre o aquecimento global. E ele haveria de responder a tudo, sempre rigoroso e, ao mesmo tempo, sempre bem disposto, pois não há um princípio de incerteza que limite o humor quando se é exacto. O seu rigor alicerçava-se na sua sólida formação matemática, uma vez que se tinha licenciado nessa disciplina antes de se formar em geofísica. Ele

sabia que sem matemática não pode haver física e, por isso, não pode haver geofísica. Nas suas palavras: A matemática está para a física assim como a gramática está para a literatura. A gramática ensina a expressar bem as ideias, se as houver! Não cria literatura.

Lembro-me bem da primeira vez que o vi, num seminário em Coimbra sobre termodinâmica, de ter sorrido com uma das suas extraordinárias frases: “A senhora da limpeza desentropiou-me o gabinete todo”. A linguagem do Prof. Peixoto, nas aulas ou fora delas, podia ser bastante colorida, como mostra o exemplo que dava da produção de entropia por humanos: “Meus meninos, como fazem para se livrarem da vossa entropia? Sim, puxam o autoclismo”. Tal como o seu contemporâneo Feynman (que, como ele, esteve no MIT e em Princeton) Peixoto era um físico divertido, e algumas das suas tiradas bem podem ser equiparadas às do físico novaiorquino. Como disse Lorenz, onde estivesse o Peixoto, o ambiente mudava. Uma alteração climática local, portanto.

A Associação Casa de Cultura Prof. Dr. José Pinto Peixoto, sediada em Miuzela, distribuiu no dia em que lá fui prémios aos melhores alunos do ensino primário local. Essas distinções servem para lembrar que o seu patrono era filho de professores primários e estudou em Lisboa no Instituto do Professorado Primário. Mas essa associação tem também um prémio nacional para o melhor aluno do secundário, que tem sido ganho por alunos de vintes.

Se graças ao Prof. Peixoto Miuzela já estava no mapa da ciência mundial, com estes prémios está hoje no mapa da educação nacional.

Carlos Fiolhais é professor da Universidade de Coimbra, sendo director da biblioteca dessa Universidade. É um grande divulgador de ciência, autor de muitos livros, nomeadamente “Física Divertida” e “Nova Física Divertida”.

Notícias



PRÊMIO NOBEL DA FÍSICA 2008 SIMETRIA OU NÃO SIMETRIA, EIS A QUESTÃO

FORAM TRÊS OS LAUREADOS EM 2008. METADE DO PRÊMIO COUBE A YOICHIRO NAMBU, “PELA DESCOBERTA DO MECANISMO DA QUEBRA ESPONTÂNEA DE SIMETRIA NA FÍSICA SUB-ATÔMICA”. A OUTRA METADE COUBE A TOSHIHIDE MASKAWA E MAKOTO KOBAYASHI “PELA DESCOBERTA DA ORIGEM DA QUEBRA DE SIMETRIA QUE PREVÊ A EXISTÊNCIA DE PELO MENOS TRÊS FAMÍLIAS DE QUARKS.”



Este ano a Academia consagrou pois a simetria. Não é só na Arte que a simetria, e a sua quebra, têm um papel decisivo. Em Física, as simetrias e padrões da Natureza traduzem-se por equações matemáticas, simplificam cálculos e correspondem a leis de conservação. Mas a sua quebra é também de grande importância. É ela que permite a compreensão do universo e da riqueza das suas estruturas: partículas diferentes emergem, a massa de partículas surge, a matéria separa-se da anti-matéria. Formam-se os prótons a partir dos quarks. Constituem-se os núcleos dos átomos, os átomos, as moléculas. E em particular o ADN. Existimos, por exemplo ainda, porque também a simetria deste ADN se quebra. Se a simetria traz regras, é a sua quebra que traz a alegria da variedade e da liberdade ao universo. É assim em tudo. Ambas, regra e variedade, são necessárias. Mas não deixa

de ser fascinante ver isso escrito em equações matemáticas --- da Física. Que essa mensagem se escrevia com tintas e pincéis, notas e violinos, todos sabem. Mas na Física, como na Arte? Pois é, os Físicos e os Artistas estão mais próximos do que muita gente pensa. O cérebro que faz ciência é o mesmo que faz arte.

Teresa Peña



AS BOAS IDEIAS NÃO SE PERDEM, TODAS SE TRANSFORMAM

Emílio Ribeiro
Centro de Física das Interações
Fundamentais, IST



Yoichiro Nambu

OS QUARKS E A NOVA “TABELA PERIÓDICA”

Yoichiro Nambu nasceu em Tóquio em 1921, estudou no liceu Fujishima e, posteriormente, na Universidade Imperial de Tóquio. Com 29 anos foi contratado como professor associado pela Universidade de Osaka. Emigrou para a América onde trabalhou no Instituto de Estudos Avançados de Princeton e, posteriormente, na Universidade de Chicago. Foi-lhe atribuído o prémio Nobel em 2008. Naturalizou-se americano em 1970. São várias as suas contribuições para a física. Em 1961 escreveu, conjuntamente com Jonas-Lasinio dois artigos: “Dynamical model of elementary particles based on an analogy with superconductivity. I”, publicado em *Physical Review* (Vol. 122, págs. 345-358) e “Dynamical model of elementary particles based on an analogy with superconductivity. II”, publicado em *Physical Review*



(Vol. 124 págs. 246-254)”. O primeiro destes artigos tem, de acordo com o arquivo “spires” 2909 citações enquanto o segundo é citado 1337 vezes. São estes os artigos que fundamentam a atribuição do prémio Nobel. Mas não termina aqui a sua contribuição para a Física. 1961 é o ano que vê nascer, pela mão de Gell-Mann, Kazuhiko Nishijima e Yuval Neeman, um novo sistema de classificação de um tipo de partículas chamadas hádrons. Posteriormente, num raciocínio análogo ao subjacente à desconstrução da Tabela Periódica dos Elementos em termos de prótons e neutrões, viriam estes hádrons e a respectiva Tabela “eightfold way” a serem, por sua vez, desconstruídos em termos de um conjunto restrito de entidades que, em combinações diversas, dariam então forma à crescente multidão de diferentes hádrons que, entretanto, se iam descobrindo. Em 1964, pela mão de Gell-Mann e Georgwe Zweig, viriam estas entidades a receber o estatuto de partículas e baptizadas, por iniciativa de Gell-Mann, citando o livro “Finnegans Wake”, com o nome de quarks. Teriam uma massa elevada e estariam ligadas entre si por forças tais que as impediam de serem vistas a passear livremente.

A COR: 3 CARGAS POSSÍVEIS DE UMA INTERACÇÃO NOVA

Em 1964 era este o panorama. Mas não era um panorama aceitável por apresentar contradições insanáveis. Estes quarks teriam que ser férmions e conjuntos de três férmions não podem ser conjuntos simétricos na troca entre eles. Mas a simetria de troca era importante: que fazer com um hádron feito de três quarks do mesmo tipo? Anti-simétrica no espaço? E porque não hádrons de quatro quarks? Alguma coisa tinha que ceder. Em física, algumas vezes, não muitas, e sempre classificadas à posteriori de geniais, paga a fuga para frente: ainda em 1964 Oscar Greenberg escreve um artigo na *Phys. Rev. Letters*, (Vol. 13), onde dá conta da necessidade da existência de uma nova propriedade (baptizada, na altura, com o estranho nome de paraquarks) dos quarks de forma a permitir estruturas simétricas de três quarks na Tabela SU(6). É o começo de uma caminhada que leva à introdução, para os quarks, em adição à usual carga eléctrica de uma nova carga, desta vez matricial: a “côr”. Estas ideias andavam no ar: em 1965 Yoshiro Nambu propõe, em colaboração com M.Y. Han, a existência de

uma nova simetria além da já estabelecida simetria da Tabela periódica de quarks-conhecida como (a Tabela) SU(6). As cargas de “côr” seriam inteiras nessa proposta. O que não subsistiu. Mesmo a grande ideia (dos quarks e da sua COR) estava nesse trabalho de Nambu. As cargas de côr no entanto teriam que ser matriciais. Não cabe aqui neste espaço a explicação desta necessidade. Coube finalmente a Murray Gell-Mann, H. Fritzch e H Leutwyler a demonstração das vantagens de um cenário de quarks interagindo entre si à maneira da electrodinâmica com a diferença de que agora teríamos três tipos de carga para o mesmo quark, três côres, e por isso oito tipos de fotões (3^2-1), hoje conhecidos como gluões.

SIMETRIA QUIRAL

E chegámos à simetria quiral. Tudo tinha começado muitos anos atrás com a extraordinária física dos supercondutores. Paralelamente à dinastia de físicos-de-partículas, existia uma linhagem de físicos-da-matéria-que-não-é-partículas. Hoje esta forma de estar na investigação é conhecida como física da matéria condensada. Estas dinastias comunicavam entre si (hoje nem tanto...). Pelo menos nos anos 60 nos Estados Unidos, nos melhores sítios é certo, comunicavam. A primeira teoria microscópica da supercondutividade deve-se a Bardeen, Cooper e Schrieffer publicada no já remoto ano de 1957. O ingrediente principal desta teoria reside numa interação entre pares de electrões, digamos que distantes entre si, devidas às vibrações acústicas (fonões) do substracto onde estão amarrados e que para todos os efeitos fornecem (estas vibrações) uma rede de comunicação entre os dois electrões de cada um destes pares. A estes pares dá-se o nome de pares de Cooper. Este trabalho permitiu aos autores ganhar o prémio Nobel de 1972. A teoria BCS recebeu importantes e decisivos contributos de físicos como Bogolioubov e, mais tarde, de Gor'kov que demonstrou que é possível reformular (perto de uma determinada temperatura) a teoria BCS numa teoria Ginzburg-Landau que é manifestamente invariante de Gauge. Este era um ponto crítico pois todas as teorias de campo têm que possuir esta propriedade que é partilhada pela rainha das teorias de campo e que é a teoria electrodinâmica de electrões e fotões. Como os pares de Cooper têm soma dos dois momentos nula, isto é o centro de massa destes pares está parado, temos uma simetria residual: não importa onde está parado, se aqui, em Lisboa, ou no Porto. Logo o sistema é invariante por translações Lisboa-Porto e portanto estas transla-

ções não custam energia. Portanto as excitações do sistema produzidas por translações deste tipo, ditas Gali leanas, que não custam energia, têm massa zero. Eis um exemplo do que se denomina de bosões de Goldstone. O que Nambu e Jonas-Lasínio fizeram foi readaptar esta teoria ao mundo das partículas. Os artigos acima citados, são pré-quarks. Nestes artigos os fermiões são Nucleões, a interacção entre eles é local e o que faz de simetria invariante é um tipo de simetria chamada simetria quiral. Ipsiis verbis, como no caso dos supercondutores, o bosão de Goldstone é (neste caso) um escalar estranho pois apesar de ser um escalar, não é um simples número pois retém a propriedade de não ser invariante quando invertemos o sentido das coordenadas espaciais (daí o nome pseudo-escalar). O candidato óbvio para este bosão de Goldstone era o mesão pi.

Só muito mais tarde se começou a aplicar este modelo de Nambu-Jonas Lasínio aos quarks, sendo que a interacção entre eles é a nossa já velha conhecida interacção por gluões. Esta área de investigação continua muito activa nos dias de hoje com o modelo Nambu, Jonas Lasínio aplicado a inúmeros problemas e, entre eles, destaco uma das coqueluches do momento: a física dos átomos frios. Finalmente é de justiça dizer que Yoshiro Nambu também foi um pioneiro na teoria das cordas, com o seu artigo com Goto. Com este resumo histórico torna-se particularmente visível que as boas ideias não se perdem mas todas se transformam, abrangendo cada vez mais sistemas físicos dispares entre si.

A VIOLAÇÃO DA SIMETRIA CP

A SUGESTÃO DE MAIS DE UMA GERAÇÃO DE QUARKS POR KOBAYASHI E MASKAWA FOI NOTÁVEL

**Gustavo Castelo Branco
Centro de Física Teórica de Partículas, IST**

$$\begin{pmatrix} V_{ud} & V_{us} & V_{ub} \\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb} \\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb} \end{pmatrix}$$

O Prémio Nobel da Física de 2008 foi atribuído aos físicos Yoichiro Nambu,

Makoto Kobayashi e Toshihide Maskawa. A atribuição do prémio a Kobayashi e Maskawa reconhece a importante contribuição destes dois físicos japoneses para o conhecimento do fenómeno de violação de CP. Em 1973, Kobayashi e Maskawa mostraram que é possível ter violação de CP (conservação do produto carga e paridade) no Modelo Padrão de Unificação das interações electrofracas e fortes, se tivermos três ou mais gerações de quarks.

Esta sugestão é verdadeiramente notável se atendermos a que na altura só se conheciam duas gerações incompletas, uma vez que o quark *charm* ainda não tinha sido descoberto. A descoberta da terceira geração de quarks (*bottom* e *top*) e várias experiências recentes no SLAC e KEK vieram confirmar as previsões do modelo de Kobayashi e Maskawa.

A violação de CP neste modelo está intimamente ligada a uma fase que tem significado físico na matriz de Cabibbo Kobayashi e Maskawa (CKM)--- que generaliza para três gerações o notável trabalho de Cabibbo. Uma parte importante da comunidade internacional de físicos de partículas considera que o Prémio Nobel devia também ser atribuído a Nicola Cabibbo, eminente físico italiano.

RECORDAÇÕES DE YOICHIRO NAMBU NA UNIVERSIDADE DE CHICAGO

Jorge Romão (PhD '79 Chicago)
Centro de Física Teórica das Partículas, IST

Fui estudante de doutoramento na Universidade de Chicago desde Setembro de 1974 a Fevereiro de 1979, no grupo de Física Teórica e Partículas onde se integrava o Professor Yoichiro Nambu. Nunca fui seu aluno (excepto numa ocasião que descrevo a seguir) nem nunca tive um contacto muito estreito com ele, era uma pessoa muito reservada.

Já naquela altura Nambu era considerado um candidato natural ao Prémio Nobel. Nas palavras de outro Nobel da Física (1980) da Universidade de Chicago, James Cronin, "He has always been way ahead of his time, to the point where what he discovered was thought to be discovered by other

people much later"¹. Era também considerado um orientador difícil, já que o aluno recebia o problema e só devia voltar quando tivesse feito algum progresso. Mas estava sempre lá para ajudar, sendo apenas que o aluno é tinha que desbravar caminho.

Um aspecto curioso, que mostra bem a cultura das universidades americanas, é o facto de que naqueles anos, entre 1974 e 1977, Nambu ter sido o presidente do Departamento de Física. Para quem o conhece minimamente perceberá que isto só foi possível por não lhe ser exigida a carga burocrática desses cargos nas nossas universidades. O dia-a-dia do Departamento era dirigido pelo seu *Dean* (Sol Krasner) e pela secretária (Barbara, se não me engano). O que ficava para o Presidente eram os problemas verdadeiramente importantes, as decisões de fundo e para o futuro. Outra faceta, que mostra um pouco da sua personalidade, era o seu comportamento nos seminários do grupo. Havia semanalmente um seminário onde vinham muitos convidados apresentar o seu trabalho. Como por vezes acontece, ou por o seminário não ter sido muito bom, ou por estar um pouco longe dos tópicos da maioria da audiência, chegava-se ao fim do seminário e não havia perguntas. Normalmente algum dos outros professores mais seniores lá fazia uma pergunta para evitar o embaraço do convidado não ficar "pendurado". Ora isso nunca acontecia quando o Nambu estava presente. Ou não perguntava nada, ou, quando o fazia, a maior parte das vezes acabava ele a escrever alguma coisa no quadro explicando alguma teoria sua.

Finalmente uma última curiosidade. Como disse, Nambu nunca foi meu professor, aliás acho que por aqueles anos ser presidente do Departamento ele não deu aulas. Nós tínhamos na escola graduada (3º ciclo de Bolonha dir-se-ia hoje) um curso de Mecânica Clássica onde o livro adoptado era o célebre e universal "Classical Mechanics" do Goldstein.

O professor era um físico de partículas experimental ainda hoje professor em Chicago, Henry Frisch. Um dia teve que se ausentar (penso que para ir a uma conferência) e soubemos com grande excitação que era o Nambu que o vinha substituir. A aula era sobre os ângulos de Euler e foi com espanto que vimos o professor Nambu abrir o Goldstein e copiar aquelas fórmulas complicadas para o quadro. Ele também não sabia aquelas fórmulas de cor! Isso também me ensinou alguma coisa, e ainda hoje digo aos meus alunos que eles não têm de saber de cor as coisas que eu não sei.

⁽¹⁾ ele esteve sempre tão à frente do seu tempo, ao ponto de se pensar que o que descobriu foi descoberto por outras pessoas, muito mais tarde (T.E.)

Aconteceu

FÉRIAS DE VERÃO NA FÍSICA

Carla Carmelo Rosa

Faculdade de Ciências, Universidade do Porto

Uma das heranças do Ano Internacional da Física foi a Escola de Verão que o Departamento de Física (DF) da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP) lançou por ocasião das celebrações de 2005. A Escola de Verão de Física, integrada na Universidade Júnior da Universidade do Porto, nasceu da energia e da reflexão de um grupo de alunos do DF sobre a crise internacional na captação de alunos para cursos científicos, enquadrada na fraca projecção das ciências na sociedade. Nos seus quatro anos de existência a Escola tornou-se uma referência nacional. Ao longo das suas quatro edições contou com a participação de cerca de 300 alunos, e tem vindo a distinguir-se por uma atitude de permanente inovação desde a sua primeira edição, no ano 2005. A 4ª Escola decorreu entre os dias 31 de Agosto e 5 de Setembro. Para saber mais visite <http://e-fisica.fc.up.pt>.

Conhecer e trabalhar com cientistas

A Escola desafia jovens muito motivados pelas ciências, com prestações acima da média nas disciplinas nucleares de Matemática e Física, a dedicar integralmente uma semana das suas férias à descoberta de novas áreas da Física, e a desenvolver um projecto científico sob os moldes que são característicos na rotina de um cientista. Os participantes realizam projectos científicos, com resultados defendidos em sessão pública; frequentam mini-cursos nas áreas de Relatividade e Mecânica Quântica aplicada às Nanotecnologias, e assistem a palestras científicas. Durante a Escola, os alunos descobrem muitos dos ingredientes do trabalho de investigação científica e do desenvolvimento de soluções tecnológicas inovadoras: o estudo e aprendizagem de um tema; o trabalho em equipa para atingir objectivos e ultrapassar dificuldades; dias de trabalho de grande concentração; num espírito saudável de competição e partilha entre grupos. A Escola privilegia o contacto dos participantes com jovens investigadores dos grupos de investigação do DF. Para tal, a selecção dos monitores que orientam os trabalhos dos alunos e leccionam os cursos segue critérios de rigor e exigência, de acordo com modelos de competência, dedicação e saber. A Escola tem demonstrado a sua confiança na capacidade dos jovens Portugueses, entregando a formação dos alunos quase



exclusivamente a doutorandos. Os resultados tem sido muito encorajadores: os alunos identificam nos monitores o cientista que gostariam de ser, surpreendem-se com a inovação e a relevância da investigação por eles desenvolvida, e usam a proximidade com o monitor que a reduzida diferença de idades proporciona.

Os projectos que se realizam

Ao longo das quatro edições da Escola foram implementados projectos científicos em áreas diversificadas, tentando dar-se maior destaque aos projectos de índole aplicada, não invalidando a existência de projectos de cariz numérico ou teórico. Pretende-se assim destacar a importância da Física em várias áreas tecnológicas de impacto na sociedade moderna. Os projectos resultam maioritariamente de linhas de investigação acolhidas pelo DF: tecnologias ópticas (comunicações ópticas, sensores, holografia), ciência dos materiais (novas nano-estruturas, dispositivos magneto-ópticos, novos materiais, supercondutividade e ferrofluídos). Dentro da física teórica, desenvolvem-se projectos ligados a sistemas dinâmicos, econofísica, biofísica. A colaboração com o Centro de Astrofísica do Porto permite disponibilizar alguns projectos na área da Astrofísica.



As surpresas da 4ª Edição

Após um criterioso processo de selecção inscreveram-se na 4ª edição da Escola 107 jovens oriundos de Portugal Continental, Açores, Cabo Verde, Angola, Moçambique, São Tomé e Príncipe, e Galiza, formando 17 grupos de trabalho, para igual número de projectos científicos.

A última edição da Escola apostou fortemente na internacionalização dos seus participantes. Os alunos dos PALOP e da Galiza foram seleccionados entre os melhores, em escolas com equivalência pedagógica com o Ministério de Educação Português. Para eles, a vinda à Escola funcionou como um prémio de mérito. Um dos objectivos da Escola, como meio de divulgação do impacto da formação científica e, em particular, das valências dos Físicos, é a apresentação de alternativas profissionais localizadas fora do meio académico. Para tal, ao longo da história da Escola, têm sido convidados





Físicos ligados ao mundo empresarial dedicados ao desenvolvimento e comercialização de novas tecnologias. Na edição de 2008 foi dada relevância à sinergia Universidade/Empresa, sendo uma das palestras dedicada ao papel dos Físicos nos mercados financeiros. Assim, O programa da 4ª Escola contemplou três palestras: *A Ciência invade a Gestão*, por Vítor Lopes (Consultor Financeiro), *O LHC - 15 anos de espera, 15 razões para esperar*, por André David (LIP/Lisboa e CERN), e *A Astronomia - uma poderosa ferramenta da divulgação científica*, por Pedro Russo (IAA e ESA). A edição deste ano reservou algumas surpresas aos jovens alunos, entre elas um debate com Marcelo Rebelo de Sousa intitulado "Portugal 2008". Os temas mais marcantes do debate debruçaram-se sobre a emigração de jovens qualificados e sobre a necessidade de espírito de iniciativa empresarial para o desenvolvimento do país.

Em todas as edições da Escola, os alunos chegam com bastante entusiasmo, imensa vontade de aprender e de enfrentar desafios. A qualidade do seu envolvimento nos projectos científicos tem sido constatada no último dia do programa das várias edições, em sessão aberta, onde cada grupo apresenta o projecto, os resultados, e se submete às questões de todos os participantes e dos monitores.

Ao fim de uma semana de trabalho intensivo os alunos partem lamentando não poder voltar, alguns deles com a carga adicional de saberem que não voltarão a contactar com a Física ao nível temático oferecido pela Escola, por via das suas escolhas futuras de cursos superiores. Partem de brilho nos olhos e a mais valia de novas amizades e novas perspectivas.

Enquanto experiência de excelência, a Escola de Verão de Física criou um novo paradigma de sensibilização para a Ciência, desde a sua primeira edição em 2005. O sucesso do modelo levou ao desenvolvimento posterior de iniciativas semelhantes em diversos departamentos da Universidade do Porto e de outras Universidades.

A 4ª Edição da Escola de Verão de Física contou com os apoios Ciência Viva, Ciência Inovação 2010, Fundação Calouste Gulbenkian, Fundação Portugal-África, Reitoria da Universidade do Porto, Universidade Júnior/UP, e da empresa Lysis.

AUGUSTO BARROSO FEST

No passado dia 24 de Outubro realizou-se no Complexo Interdisciplinar na Universidade de Lisboa uma conferência em honra do Professor

Augusto Barroso, por ocasião da sua aposentação como Professor Catedrático da FCUL.

Ver página da conferência em <http://www.ciul.ul.pt/~augustofest/index.php>

AS OLIMPÍADAS FESTEJARAM 15 ANOS NO PAVILHÃO DO CONHECIMENTO Fernando Nogueira

Registou-se este ano a 15ª participação portuguesa na Olimpíada Internacional de Física (IPhO). Para celebrar esta ocasião a Sociedade Portuguesa de Física organizou uma exposição no foyer do Centro Ciência Viva no Pavilhão do Conhecimento, em Lisboa. Esta decorreu no passado dia 29 de Novembro e permitiu aos visitantes apreciarem 21 experiências utilizadas nas provas práticas da IPhO, da Olimpíada Ibero-americana de Física (OlbF) ou da prova de selecção das equipas que representam Portugal nestas competições internacionais de Física.

Paralelamente a esta exposição interactiva decorreu uma mesa redonda com vários ex-participantes na IPhO e na OlbF que recordaram as suas aventuras olímpicas e discutiram o impacto que estas tiveram no seu percurso pós-olimpíadas. Estiveram presentes nesta mesa redonda os ex-olímpicos João Piroto (IPhO 1995), Rui Meleiro (IPhO 1999), Pedro Queiroz (IPhO 2001), Miguel Fiolhais (IPhO 2004), João Torres e César Vieira (OlbF 2004), Flávio Coelho (IPhO 2006), Pedro Carrilho e João Guerreiro (OlbF 2007) e João Serôdio, Catarina Pinho e Diana Melancia (IPhO 2008) e ainda Ana Noronha (Agência Ciência Viva), Teresa Peña e Lucília Brito (Sociedade Portuguesa de Física) e os team-leaders Manuel Fiolhais, José António Paixão e Fernando Nogueira.

Apenas num ponto todos os ex-olímpicos se repetiam: a importância da experiência académica e humana que é a participação numa olimpíada internacional.

Contribuíram ainda para a exposição vários ex-olímpicos que não se puderam deslocar ao Pavilhão do Conhecimento, já que muitos se encontram agora a trabalhar no estrangeiro. As contribuições destes ex-olímpicos foram reunidas em vários cartazes e colocadas junto às experiências. Os visitantes puderam assim constatar os brilhantes percursos académicos de todos os ex-olímpicos assim como a grande diversidade das suas opções profissionais.

Portugal participou pela primeira vez na IPhO em 1993, com o estatuto de observador (ver "Gazeta de Física", vol. 17, fasc. 1, 20-23, 1994), tendo no ano seguinte participado já com uma equipa completa. A participação na OlbF iniciou-se em 1999, de novo como observador, tendo a primeira equipa portuguesa completa participado na OlbF 2000, em Jaca. A história das Olimpíadas de Física em Portugal pode-se encontrar em <http://olimpiadas.fis.uc.pt>.

**CARLOS FIOLHAIS, DA FCTUC,
CO-AUTOR DE ARTIGO CIENTÍFICO
COM MAIS DE 5600 CITAÇÕES**

Tânia Rocha

Um artigo em que Carlos Fiolhais é um dos autores e publicado em 1992 na “Physical Review B”, atingiu o recorde do maior número de citações em artigos com um co-autor português.

O artigo científico “Atoms, Molecules, Solids, and Surfaces: Applications of the Generalized Gradient Approximation for Exchange and Correlation”, da autoria de John Perdew, J. Chevary, S. Vosko, Koblar Jackson, Mark Pederson, D. Singh e Carlos Fiolhais, ultrapassou já as 5600 citações, sendo assim um artigo de grande impacto internacional, servindo de inspiração a muitos trabalhos posteriores.

Nas palavras de Carlos Fiolhais, este artigo continua a despertar o interesse de outros grupos de investigação porque *“A fórmula inovadora proposta, que descreve a energia de um sistema electrónico e que foi adoptada por praticamente todos os programas de modelação molecular, revelou-se extremamente útil em áreas muito distintas da ciência e da tecnologia como, por exemplo, biologia e medicina molecular, farmácia, física, química, física atómica e molecular, física dos sólidos, física de superfícies, química quântica, ciência de materiais, engenharia química, etc. Em particular tem sido muito usada no campo emergente e interdisciplinar da nanotecnologia, a engenharia que realiza a modelação e o fabrico de sistemas à escala molecular”*.

Carlos Fiolhais foi o anterior director da Gazeta de Física, mantendo agora nesta revista a sua crónica regular “Física Divertida”, nome de dois dos seus livros, e a sua imagem de marca.

O artigo pode encontrar-se em
http://prola.aps.org/abstract/PRB/v46/i11/p6671_1

**ELVIRA FORTUNATO RECEBE BOLSA
AVANÇADA DO EUROPEAN RESEARCH
COUNCIL(ERC)**

Tânia Rocha

A Bolsa Avançada do ERC para a área de Engenharia, de 2,25 milhões de euros, foi atribuída à investigadora Elvira Fortunato da Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNL em finais de Julho último, pelo seu projecto “Invisible”, em que se procuram desenvolver dispositivos electrónicos transparentes. A este concurso concorreram, só na área de Física e Engenharias, 997 investigadores de toda a Europa.

O número total de concorrentes em todas as áreas foi 2761, dos quais 14% são mulheres.

Elvira Fortunato dirige o CENIMAT (Centro para a Investigação de Materiais), conhecido pelo desenvolvimento de tecnologia de ponta na área dos semicondutores. Um dos projectos mais recentes, o “Invisible”, utiliza materiais cerâmicos e óxidos comuns, em vez de silício, para produzir transístores e outros dispositivos transparentes. As possibilidades de aplicação prática são imensas, desde ecrãs e mostradores, brinquedos, janelas inteligentes a aplicações na indústria automóvel e aplicações na segurança e na indústria militar. O projecto despertou o interesse de inúmeras empresas, entre as quais a Samsung, a Fuji, a LG, a Saint Gobain, a HP e a Fiat.

Esta bolsa é o maior financiamento até hoje concedido a qualquer investigador português, e irá reforçar o orçamento dedicado à investigação do CENIMAT na microelectrónica transparente, com o aumento da equipa de investigação e a aquisição de material e dispositivos.

Quando foi conhecida esta boa notícia, o mesmo grupo de investigação anunciou a realização do primeiro transístor com papel, com desempenhos promissores. O transístor é um dispositivo com três terminais, a fonte, o dreno e a porta, que controla a passagem de corrente, podendo ser visto como um interruptor controlável. No transístor de efeito de campo (FET) a tensão aplicada na porta controla a corrente que passa entre a fonte e o dreno. É necessário que a porta esteja electricamente isolada dos outros dois terminais. Habitualmente são utilizados óxidos semicondutores como o de silício. Esta equipa inovou utilizando o papel, que por um lado serve de suporte e por outro lado de isolante (dieléctrico) entre a porta, depositada numa das faces do papel, e a fonte e o dreno, na outra face.

O uso de papel como dieléctrico permite fabricar sistemas descartáveis a baixo custo, com a possibilidade de se dobrarem sem se estragarem, o que possibilita aplicações em etiquetas, sensores de diagnóstico médico, ecrãs de papel, chips de identificação e outras. Pode-se não estar muito longe da edição de jornais que são verdadeiras televisões descartáveis onde em vez de fotografias e banda desenhada, vemos vídeos e cartoons animados.

Ver, por exemplo, “High-Performance Flexible Hybrid Field-Effect Transistors Based on Cellulose Fiber Paper” :http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=4604837

“A FÍSICA NO DIA-A-DIA”, EM ÉVORA

Tânia Rocha

A exposição: “A física no dia-a-dia - As 73 Experiências do Livro Vivo de Rómulo de Carvalho” esteve patente em Évora, no Palácio D. Manuel, até dia 30 de Novembro de 2008.

Esta exposição interactiva foi criada em 2006 pelo Pavilhão do Conhecimento e pelo projecto Ciência Viva para comemorar o centenário do nascimento de Rómulo de Carvalho, e apresentou a maior parte das 73 experiências descritas no seu livro “A Física do dia-a-dia”, publicado pela primeira vez em 1968. Para saber mais sobre o projecto “A Física na Cidade”, visite o site: <http://www.cienciaviva.pt/divulgacao/ciencianacidade/>.



Acontece

GAZETA NO EXPRESSO

Gonçalo Figueira

Está online um espaço privilegiado que o Expresso reserva aos Físicos e amigos da Física, através de uma parceria com a Sociedade Portuguesa de Física. Aqui, no blogue da Física, esperamos ouvir a voz dos físicos portugueses (ou estrangeiros), que convidamos a participar...

Pode ver o blogue em <http://clix.expresso.pt/gen.pl?sid=ex.sections/24956>.



O Expresso convida, o cientista escreve... o blogue nasce

TELESCÓPIO SUBMARINO PESCA NEUTRINOS DO CÉU

Adelino Paiva e Teresa Peña

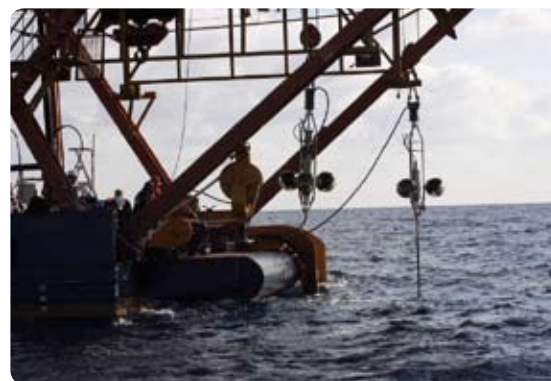
Na chique Riviera Francesa nem tudo o que brilha são as estrelas do céu, ou as estrelas de cinema. No fundo de mar cintila luz vinda de neutrinos, as partículas elementares mais misteriosas e esquivas do universo. Os neutrinos de alta energia são produzidos em verdadeiros aceleradores de partículas naturais, espalhados pelo universo, tais como supernovas, buracos negros super massivos e os centros ultra brilhantes das galáxias.

Porque na prática não interagem com a matéria, ao contrário de outras partículas, os neutrinos atravessam o Universo em linha recta, sem serem detidos pela matéria ou desviados por campos magnéticos que encontrem pelo caminho. Assim, caçar neutrinos em detectores normais é obra difícil. É como interceptar uma chuvada com um toldo permeável. Mas, quem não caça com cão caça com gato, como diz o ditado.

Assim, existe em funcionamento no fundo do mar Mediterrâneo, na Riviera Francesa ao largo de La Seyne-sur-Mer, um detector de neutrinos especial. Designa-se por ANTARES (Astronomy with a Neutrino Telescope and Abyss environmental RESearch project), e complementa as observações possíveis nos seus congéneres colocados no pólo Sul, o telescópio de neutrinos AMANDA e o detector IceCube. Os três formam uma nova geração de telescópios que, ao contrário dos telescópios normais, apontam para baixo, e não para cima!

O Antares foi construído para desenhar o mapa celeste de neutrinos de alta energia...olhando para o centro da Terra. Porquê? Apesar da Terra impedir a passagem de outras partículas, os neutrinos atravessam-na facilmente. Pelo caminho alguns dos neutrinos colidem com núcleos de átomos, um acontecimento bastante raro, e produzem muões que se movem na mesma direcção do neutrino original. Estes muões podem percorrer até doze quilómetros na crosta terrestre. Assim que emergem do fundo do mar revelam atrás de si um ténue rasto de luz que é captado pelo telescópio. Os rastos podem ser detectados pois a 2000 metros de profundidade reina a escuridão total, ocasionalmente perturbada por algumas criaturas marinhas bioluminescentes.

É verdade que existe outra fonte de muões: o choque dos



raios cósmicos com átomos da alta atmosfera terrestre. Mas estes muões têm pouca energia, pelo que apenas atravessam alguns quilómetros. É por esta razão que o telescópio se encontra no fundo do mar: para não ser ofuscado pela luz dos rastos dos muões provenientes da atmosfera. Desta forma o telescópio olha através da Terra...o céu

onde se encontra o centro da Via Láctea. O telescópio Antares poderá vir a confirmar a teoria da existência de matéria escura no centro do Sol e da Via Láctea. Apenas 5% da massa do Universo é visível nos instrumentos de hoje. Assim, a matéria escura, invisível, passou a ficar bem no centro da cosmologia.

* muão - partícula elementar 207 vezes mais pesada do que o electrão. Em muitos aspectos semelhante a este, no entanto é instável (vida média de 2.2 microssegundos) decaindo num electrão ou positrão e num par de neutrinos. Foi observado pela primeira vez nos raios cósmicos por Carl Anderson e Seth Neddermeyer em 1936.

* neutrino - partícula elementar sem carga eléctrica emitida durante um tipo de decaimento nuclear em que os quarks de diferentes famílias se transformam. Wolfgang Pauli postulou a sua existência para que a energia fosse conservada. Foi observado pela primeira vez por Frederick Reines e Clyde Cowan em 1956.

* raios cósmicos - núcleos de átomos, essencialmente de hidrogénio ou hélio, provenientes do espaço e que chocam com átomos da atmosfera terrestre a velocidades próximas da luz. Estes choques originam cascatas de vários tipos de partículas, entre as quais os positrões e os muões. Os raios cósmicos foram detectados pela primeira vez pelo austríaco Victor Hess, em 1912.

Vai acontecer

CONFERÊNCIA “SHOW PHYSICS”

A Conferência anual “Show Physics” da European Physical Society no ano de 2009 vai realizar-se em Genebra, na Suíça.

A Conferência vai focar-se no tema da educação informal em Ciência na forma de Espectáculos de Física - espectáculos itinerantes baseados em experiências de demonstração. A Conferência pretende por em contacto espectáculos de todos os países da Europa, para trocar ideias e experiências.

A conferência é organizada pelo grupo PhysicScope no contexto da rede europeia EuroPhysicsFun para Espectáculos de Física. A data limite para inscrições é 1 de Fevereiro de 2009.

Mais informação em <http://www.physiscope.ch/ShowPhysics2009.html>.

Contacto: Olivier Gaumer, sp@uinge.ch

2009 ANO INTERNACIONAL DA ASTRONOMIA

Comemora-se em 2009 em todo o mundo o Ano Internacional da Astronomia, por ocasião dos 400 anos das observações de Galileu.

As actividades começam logo no dia 1 de Janeiro com a Alvorada do AIA 2009. Nesta iniciativa global, que começa ao meio-dia local de 1 de Janeiro de 2009, qualquer pessoa ou instituição com meios de observar (com segurança) o Sol, é convidada a aparecer em centros de ciência, câmaras municipais, centros comerciais ou mesmo na sua rua, para observações do Sol e divulgação do AIA 2009. Pode encontrar mais informação e recursos sobre Alvorada do AIA 2009 em <http://www.astro.up.pt/caup/eventos/dawn2009/index.php?lang=pt>

Durante todo o ano irão realizar-se inúmeras sessões de observação, palestras, exposições e actividades diversas, algumas das quais podem já ver-se na Agenda no site oficial do AIA 2009 em Portugal.

Mais informação em <http://www.astronomia2009.org/>



A LENDA DE ARQUIMEDES NO ENSINO DA FÍSICA:

UMA PROPOSTA PARA UM PROJECTO INTERDISCIPLINAR

**Eliana M. F. Vieira,
José P. B. Silva,
Sandra D. F. C. Moreira,
Manuel F. P. C. M. Costa
e Maria J. M. Gomes**

Escola de Ciências, Departamento de Física,
Universidade do Minho, Campus de Gualtar,
4710057 Braga
Contacto do autor:
mjesus@fisica.uminho.pt

Utilizando um simples mas poderoso espelho côncavo Arquimedes afastou a armada do exército Romano: concentrou os raios do Sol sobre um barco inimigo, incendiando-o à distância, diz a lenda. Hoje, a energia solar é uma das energias renováveis com elevado potencial e crescente utilização pacífica. Em países como Portugal, dada a sua localização geográfica e condições atmosféricas, a consciencialização do potencial que representa a energia solar reveste-se de particular importância. É neste contexto que propomos um projecto experimental em Física, sobre o tema da Lenda de Arquimedes. Exploram-se alguns dos conceitos físicos envolvidos, relacionados com a Óptica e o Calor.

DOS TOUCADORES DA ANTIGUIDADE À FUSÃO DE METAIS

Os espelhos eram utilizados na antiguidade não só como objectos de tocador ou de cerimonial religioso, mas também na indústria mineira. Segundo investigações arqueológicas, realizadas no Egipto, supõe-se que povos que viveram há cerca de 3000 a.C., já recorriam aos espelhos para encaminhar a luz do Sol

para dentro das minas e túneis.

Conta a lenda que Arquimedes, durante o cerco a Siracusa em 214 a.C (2ª Guerra Púnica), já conhecendo os fenómenos gerais da reflexão que há muito tinham sido descritos por Aristófanes e Aristóteles, construiu um poderoso espelho côncavo com o intuito de afastar a armada de Marcelo (exército Romano). Assim, Arquimedes, utilizando o seu espelho, concentrou os raios do Sol sobre o barco inimigo, incendiando-o à distância.

Após o conhecimento desta lenda, segundo o historiador Zonaras, também um tal Proclus, teve a ideia de utilizar uma “arma especular” constituída por um conjunto de espelhos de latão, durante o cerco de Constantinopla em 514 d.C., da qual resultou a destruição da frota do conde Vitaliano (Vitalius). N.F. Vilette, em 1670, construiu um espelho “ardente”, que concentrava toda a radiação proveniente do sol, numa pequena área, e assim foi capaz de derreter um pequeno pedaço de ferro em 40 segundos e abrir um buraco numa chapa de bronze em 6 segundos [1]. Mouchot apresentou a Napoleão III (séc.XIX) um concentrador solar capaz de alimentar uma máquina a vapor [2].

O padre Himalaya, seguindo as lições do físico Berthelot e de outros ilustres professores, foi capaz de construir uma máquina para a obtenção de altas temperaturas, através da captação das radiações solares. Esta máquina tinha a forma de

de uma calota esférica, com centenas de espelhos, e estava suspensa na estrutura por dois eixos, que permitiam uma orientação vertical ou horizontal, consoante a orientação do Sol. O seu trabalho foi patenteado em 1899, pelo governo francês.

No ano seguinte, construiu uma segunda máquina solar e com esta foi capaz obter uma temperatura de 1100 graus centígrados.

Em 1902, já em Lisboa, construiu uma terceira máquina, com a qual obteve 2000 graus, tendo então conseguido fundir um enorme bloco de basalto.

De forma a divulgar o seu invento, decidiu participar na Exposição Universal de St. Louis, em 1904, apresentando aí um aparelho ainda mais perfeito, que denominou de “Pirelióforo” (cujo significado era “eu trago o fogo do Sol”) com o qual conseguiu obter uma temperatura de 3500 graus, à qual fundem todos os metais e quase todas as rochas^[9].

A ÓPTICA INERENTE À LENDA...

A Óptica é o ramo da Física que estuda a luz e os fenómenos com ela relacionados. Por sua vez, podemos considerar que esta se ramifica na óptica geométrica, na óptica ondulatória, na óptica electromagnética e na óptica física. Neste trabalho, apenas consideraremos a óptica geométrica, visto que é a parte da óptica que estuda os fenómenos relacionados com a propagação rectilínea da luz quando atinge uma superfície, tais como, a reflexão e a refacção da luz.

Toda a óptica geométrica pode ser formulada usando apenas a aproximação rectilínea da luz e o Princípio de Fermat [4], de onde se deduzem as leis da reflexão e da refacção. Neste enquadramento, não será necessário nem o formalismo ondulatório nem o corpuscular.

A lei a considerar no estudo da Lenda de Arquimedes é a Lei da Reflexão. Nesta perspectiva, considera-se como fonte luminosa, o Sol. Sabendo que os raios luminosos divergem a partir da fonte e se propagam seguindo o caminho opticamente mais curto, – Princípio de Fermat – a lei da reflexão em espelhos enuncia-se da seguinte forma: quando um raio luminoso incide sobre uma superfície plana polida, o ângulo de incidência, θ_i , é igual ao ângulo de reflexão, θ_r .

Assim, sendo o nosso objectivo focar a luz reflectida numa área muito reduzida, o espelho deveria ter uma forma parabólica. Quando uma fonte luminosa se encontra no infinito relativamente a um espelho parabólico, toda a radiação que, proveniente desta, incida no espelho será reflectida convergindo para um “ponto” a que chamamos de foco (f) [4].

Devido ao facto dos espelhos esféricos serem mais baratos e mais fáceis de encontrar, optamos por recorrer a estes.

Tendo em conta a aproximação paraxial, vem que:

$$\frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_i} = \frac{2}{R} \Leftrightarrow \frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_i} = \frac{1}{f}, \quad f = R/2 \quad (1)$$

$$\frac{1}{\infty} + \frac{1}{s_i} = \frac{1}{f} \Leftrightarrow s_i = f \quad (2)$$

em que f é a distância do foco ao vértice, distância focal, e R é a distância do vértice ao centro de curvatura do espelho, raio de curvatura. Como o objecto/ fonte (Sol) se encontra

no infinito, $S_o \rightarrow \infty$, a sua imagem, de acordo com a expressão (2), forma-se no foco, $S_i = f$.

Neste tipo de espelhos, acrescentando que não se pode considerar uma situação de aproximação paraxial, verifica-se que a radiação não se irá concentrar somente num único ponto, mas sim numa determinada área^[5].

Quando os raios luminosos do sol incidem no espelho próximo do seu vértice, estes serão reflectidos para um ponto (f). Conforme os raios luminosos incidem mais nas extremidades do espelho, estes serão reflectidos para outros pontos. Assim, a radiação reflectida pelo espelho será concentrada numa área delimitada pelos pontos de a a f . A este fenómeno designa-se por aberração esférica que, não se tratando de um defeito do espelho, é característico dos espelhos esféricos.

Para que se reduza a área em que a radiação se concentra, seria necessário diminuir a área espelhada, de forma a que a radiação incidisse apenas na proximidade do vértice do espelho. No entanto, assim iríamos diminuir a quantidade de radiação que chega ao foco. Como queremos obter a concentração de uma quantidade máxima de energia no foco, não será favorável adoptar este método neste trabalho.

CÁLCULO DA POTÊNCIA TÉRMICA APROVEITADA PELO NOSSO ESPELHO

Tendo em consideração que o espelho não é um reflector ideal e que alguma da radiação é absorvida por este, a quantidade da radiação que se irá concentrar na zona do foco não é a mesma que incidiu naquele. Este facto irá reflectir-se no cálculo da potência térmica aproveitada com o espelho.

Neste trabalho ir-se-á, assim, estimar a potência térmica aproveitada, usando um fluxo de água que percorre uma espira de cobre (utilizou-se o cobre porque trata-se de um bom condutor térmico, $K = 398 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$) sendo recolhido num recipiente. Através deste método, procedeu-se à determinação do caudal mássico e da variação da temperatura da água, podendo assim determinar a potência aproveitada através das seguintes expressões:

$$P = \frac{E}{\Delta t}, \quad E = mc_p \Delta T \quad (3)$$

Posto isto, a expressão (3) simplifica-se a:

$$P = \frac{mc_p \Delta T}{\Delta t} \quad (4)$$

e considerando $\varphi = \frac{m}{\Delta t}$, a expressão (4) reduz-se a

$$P = \varphi c_p \Delta T \quad (5)$$

onde P é a potência térmica de aquecimento do fluxo de água em watts, φ é o caudal mássico em quilogramas por segundo, c_p é a capacidade calorífica da água a 25 °C e ΔT é a variação da temperatura da água em graus Celsius.

O rendimento do aquecimento de água do sistema pode ser calculado através da seguinte expressão:

$$\text{Rendimento} = (P_{te} / P_{tt}) \times 100\% \quad (6)$$

em que P_{te} é o valor obtido para cada um dos ensaios 1 e 2 calculada através da expressão (5) e P_{tt} pode ser determinado através da seguinte expressão:

$$P_{tt} = F \times A_{\text{espelho iluminada}} \times R_{\text{aluminio}} + F \times A_{\text{espira}} \quad (7)$$

sendo que F é a energia por unidade de tempo e por unidade de área que chega à superfície do espelho, $A_{\text{espelho iluminada}}$ é a área do espelho onde incide a radiação proveniente do Sol em m^2 e pode-se determinar através do cálculo da área do espelho, retirando-lhe ainda o valor da área de um rectângulo correspondente à sombra criada no espelho pela espira, ou seja, $A_{\text{espelho iluminada}} = A_{\text{calota}} - A_{\text{espira}}$ e R_{aluminio} é a reflectividade do alumínio. O valor do coeficiente de reflexão do alumínio a 500 nm, por ser o valor do comprimento de onda referente ao máximo do valor de energia por segundo que atravessa a atmosfera terrestre é de 0,88 [6]. Adicionando-lhe ainda a quantidade de energia devida à exposição directa de uma parte da espira ao Sol. A energia por unidade de tempo e por unidade de área que chega à superfície do espelho, F , pode ser determinada através da expressão:

$$F = S(1 - R)T \cos\theta \quad \text{Wm}^{-2} \quad (8)$$

considerando que a constante solar $S = 1347 \text{ Wm}^{-2}$, que cerca de 50 % dessa radiação chega ao espelho, da restante 30 % é reflectida pelas nuvens, neve e gelo (albedo) e 20 % é absorvida pela atmosfera. O ângulo θ foi ajustado a 0° (plano do espelho perpendicular ao feixe incidente) ao meio-dia (hora da realização da experiência)[7].

PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Inicialmente procedeu-se ao projecto e à construção do suporte móvel (em acrílico) para apoiar o espelho esférico côncavo ($d = 60,96 \text{ cm}$; $f = 15,24 \text{ cm}$ [8] e $R_{\text{aluminio}} = 0,88$ a 500 nm) de forma a ser fácil a sua deslocação e que a sua utilização seja feita de uma forma estável. Este suporte permite orientar o espelho de forma a que toda a radiação incida perpendicularmente a este, concentrando assim a radiação no “foco”, ilustrando-se assim a Lenda de Arquimedes. Para a recriar, colocou-se um barco próximo do espelho, de maneira a que a vela do barco estivesse na zona do “foco” do espelho. Assim, a vela estaria mais exposta à radiação reflectida pelo espelho, incendiando-se. Ao fazer uma comparação do espelho de Arquimedes com o utilizado neste trabalho, tendo em conta as diferenças de escala, constata-se que a diferença nas distâncias focais deve-se a uma dife-

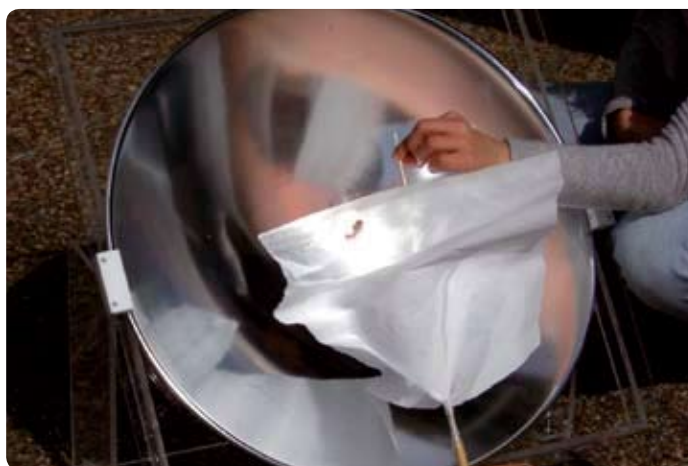


Figura 1 - Ignição da vela”

rença considerável na abertura dos espelhos. De acordo com a lenda, Arquimedes utilizou um espelho com 1 m^2 de área, incendiando os barcos romanos quando estes se encontravam a 50 metros do espelho [9]. Considerando que o espelho seria hipoteticamente uma calota esférica, a sua ságita seria apenas de 1,6 mm. Portanto, o espelho utilizado por Arquimedes seria quase plano, tendo apenas uma pequena curvatura.

O espelho ao ter menor curvatura, as aberrações serão menos importantes (considerando que podemos construir um espelho de boa qualidade) sendo a luz concentrada numa “zona focal” menor e concentrando assim maior energia.

A seguir, dentro das limitações de escala, aplicou-se o princípio envolvido na Lenda de Arquimedes à determinação da potência utilizada para o aquecimento de um fluxo de água que percorria uma espira, de 10 cm de diâmetro, em cobre (0,47 cm de diâmetro interno e 0,14 cm de espessura), sendo esta fixada de forma a captar o máximo de radiação reflectida pelo espelho. A espira foi concebida tendo em conta a dimensão da zona focal, pelo que foi dimensionada tendo em vista um maior aproveitamento da radiação que chega ao foco. Com o auxílio de um sistema de inserção de água, produziu-se um fluxo de água constante que circulava pela espira, aumentando assim a temperatura desta. Esta variação da temperatura foi, com o auxílio de um termopar do tipo K 219-4315 [10], calculada através da medição da diferença de potencial entre a entrada e a saída de água. Este cálculo foi efectuado tendo em conta a sensibilidade do termopar ($40 \mu\text{V}/^\circ\text{C}$). À medida que a água circulava pela espira ia sendo recolhida num copo, permitindo assim a medição da quantidade de água que percorria o sistema e o tempo que essa quantidade demorou a percorrer a espira. Do ponto de vista pedagógico, de forma a despertar o interesse e a motivação pela óptica nos mais jovens, fizemos ainda uma aplicação mais lúdica, o *barbecue solar*. Desta forma, colocámos



Figura 2 - Montagem do espelho com a serpentina, sistema de fluxo e recolha de água

uma panela no “foco”, com o auxílio de um suporte previamente construído, conseguindo concentrar na superfície da panela a radiação solar reflectida pelo espelho, possibilitando, deste modo, a fritura de um ovo (Figura 3). Duma forma idêntica, com um espeto, grelhou-se uma salsicha (Figura 4).



Figura 3 - Ovo a fritar

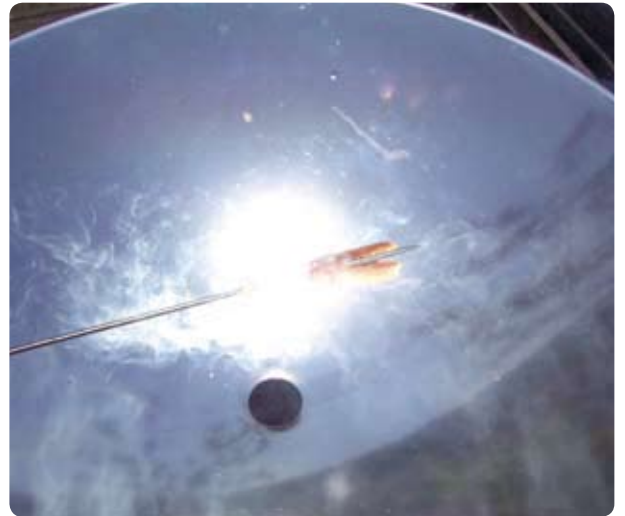


Figura 4 - Salsicha a grelhar

MEDIÇÕES EXPERIMENTAIS: POTÊNCIA TÉRMICA APROVEITADA

As medições experimentais foram realizadas à temperatura ambiente de 26°C, tendo-se verificado que a água se encontrava a uma temperatura de 25 °C e que a temperatura atingida no foco era de 219,5 °C. Realizaram-se dois ensaios, em que se variou o caudal, registando-se assim os valores da diferença de potencial e do tempo necessário à recolha de 500 mL de água, que se encontram descritos nas Tabelas 1 e 2.

Tempo (s)	U (mV)
10	0,14
20	0,14
30	0,14
40	0,15
50	0,15
60	0,16
70	0,16
75	0,15
	$U_{\text{méd}} = 0,15 \pm 0,01$

Tempo (s)	U (mV)
10	0,11
20	0,12
30	0,12
40	0,13
50	0,12
60	0,13
65	0,12
	$U_{\text{méd}} = 0,12 \pm 0,01$

Tabela 1. Registo dos valores experimentais da diferença de potencial e do tempo necessário à recolha de 500 mL de água para o caudal 1 (menor)

Tabela 2. Registo dos valores experimentais da diferença de potencial e do tempo necessário à recolha de 500 mL de água para o caudal 2 (maior).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

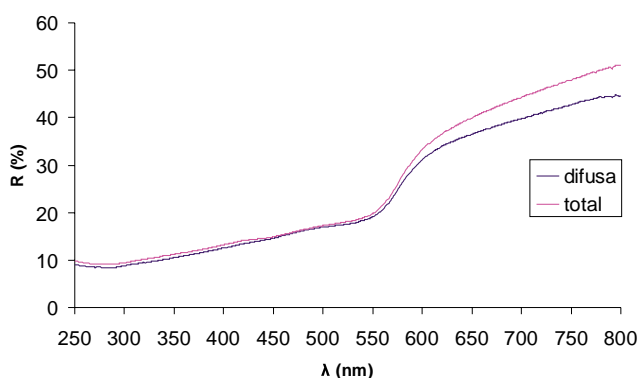
Para a determinação da potência térmica aproveitada no aquecimento de água e do rendimento deste processo, nos dois ensaios, teve-se em conta os seguintes dados: capacidade calorífica da água líquida a 25°C - 4,18 kJ kg⁻¹ K⁻¹; termopar tipo K: 40 μV/°C; volume de água recolhida = 500 mL e com uma densidade de 1 kg/dm³. Deste modo, chegou-se aos valores que são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Registo dos valores relativos ao cálculo do rendimento do processo.

Ensaio	$\dot{\varphi}$ (Kg/s)	ΔT (°C)	P _{térmica experimental} (W)	P _{térmica teórica} (W)	Rendimento (%)
1	6,7x10 ⁻³	3,75	105±13	145	72
2	7,7x10 ⁻³	3,00	96±13		66

Para o cálculo das incertezas associadas ao valor da potência aproveitada no aquecimento da água, considerou-se as incertezas às variáveis envolvidas de $\Delta V = 0,05 \text{ dm}^3$; $\Delta(\Delta T) = 0,25 \text{ }^\circ\text{C}$; $\Delta(\Delta t) = 0,5 \text{ s}$.

Os valores obtidos para a potência nos 2 ensaios são próximos. No entanto, pode-se verificar que no 1º ensaio, em que o caudal foi menor, a variação da temperatura da água foi maior, traduzindo-se isto num maior valor da potência. Deve-se salientar que durante o processo houve perdas de energia, não sendo totalmente utilizada para o aquecimento da água. O espelho não reflecte totalmente a radiação solar que nele incidiu, sendo uma pequena parte desta absorvida. O cobre, apesar de ser um bom condutor ($K = 398 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$), vai reflectir e absorver alguma radiação, diminuindo assim, também, a eficácia do processo. No 1º ensaio verifica-se que cerca de 28% da energia é dissipada, sendo uma fracção desta reflectida e outra absorvida pela espira de cobre. No 2º ensaio verifica-se que cerca de 34% da energia não é aproveitada. Neste contexto, achou-se conveniente também, medir a reflectância da espira de cobre. Para tal utilizou-se um espectrofotómetro UV-Visível da Shimadzu (UV – 2501 PC) com uma esfera integradora. Através do espectro obtido para a reflectância total em função do comprimento de onda, gráfico 1, pôde-se verificar que o valor da reflectância total da espira a 500 nm é de 17,22%. Como se pode observar no mesmo gráfico, a diferença entre a reflectância difusa não é muito grande devido à forma da superfície da espira e ao facto desta ser muito baixa.



CONCLUSÕES

Neste trabalho recriou-se a Lenda de Arquimedes, a menos de um factor de escala, e utilizaram-se os princípios envolvidos nesta lenda, na utilização da energia solar em variadíssimas aplicações do dia-a-dia com sucesso, salientando os princípios físicos envolvidos. Deixa-se também como sugestão a implementação de trabalhos semelhantes a este, nas escolas, que envolvam as disciplinas de Física, História, Geografia e Educação Visual e Tecnológica como forma de motivar os mais jovens para a Ciência, e consciencializá-los para o uso de energias alternativas num Mundo que, sem estas, se avista menos risonho.

AGRADECIMENTOS

Os autores estão muito agradecidos aos professores do Departamento de Física Teresa Viseu, Vicente Fonseca, Bernardo Almeida e Francisco Macedo pelos seus contributos científicos em diferentes fases do trabalho experimental. Nós também gostávamos de agradecer pela assistência técnica ao Sr. Américo Rodrigues e ao Engenheiro José Cunha na construção do material experimental.

Referências bibliográficas

- [1] L. M. Bernardo, "Histórias da Luz e das Cores" Vol. I, Porto: Universidade do Porto (2005).
- [2] L. M. Bernardo, "Histórias da Luz e das Cores" Vol. II, Porto: Universidade do Porto (2007).
- [3] <http://www.cienciaviva.pt/rede/himalaya/home/himalaya.asp>
- [4] E. Hecht, Óptica (tradução de José Manuel Rebordão), Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian (1991).
- [5] S. J. Pedrotti, L. Frank & L. Pedrotti, "Introduction to Optics", 2ª edição. New Jersey: Prentice-Hall (1996).
- [6] S. A. Akhmanov & S. Yu. Nikitin, "Physical Optics", New York: Oxford University Press (1997).
- [7] B. White, "Physics in the current climate", In Physics Education. 42, nº 4, pp 327-330 (2007).
- [8] www.edmundoptics.co.uk
- [9] A. A. Mills & R. Clift, "Reflections on the 'Burning Mirrors of Archimedes'. With a consideration of the geometry and intensity of sunlight reflected from plane mirrors". In European Journal of Physics. 13, nº6, pp 268 - 279 (1992).
- [10] <http://pt.rs-online.com>
- [11] www.rcsi.ie/sodis/
- [12] <http://ciberia.aeiou.pt/?st=3682>
- [13] <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=010115041125>

NOVOS

Laboratórios escolares

Breve apresentação da renovação realizada numa das primeiras escolas intervencionadas

Teresa Heitor, Vitor Duarte Teodoro, João Fernandes e Clara Boavida

Há um ano, nesta mesma revista, apresentaram-se os aspectos essenciais da renovação dos laboratórios das escolas de ensino secundário, actualmente em execução pela Empresa Parque Escolar EPE, do Ministério da Educação. No âmbito do programa de modernização das escolas secundárias prevê-se a intervenção num total de 330 escolas até 2015.

Neste artigo, apresenta-se o resultado da renovação dos laboratórios escolares numa das primeiras escolas intervencionadas. As soluções adoptadas na intervenção tiveram em conta a análise dos currículos escolares, os resultados da discussão com professores da escola e de outras escolas, a análise de desenvolvimentos recentes na concepção de espaços escolares, nomeadamente no Reino Unido, e os resultados da reflexão conjunta entre professores, arquitectos, engenheiros de diversas especialidades, fornecedores de mobiliário e equipamento de laboratório e especialistas de ensino e divulgação das ciências.

Para além da correcção de problemas construtivos e da melhoria das condições de conforto ambiental, pretende-se adequar os laboratórios às necessidades actuais do ensino, nomeadamente as decorrentes da existência de aulas com turmas divididas em dois turnos, da existência de clubes de ciências e de novas áreas curriculares não disciplinares e do uso integrado de tecnologias de informação e comunicação e de medição assistida por computador.

São as seguintes as principais características dos laboratórios:

- Os laboratórios existem aos pares, sempre que possível com uma sala de apoio comum entre ambos, onde é colocado equipamento que pode ser partilhado (e.g., hotte móvel; armários de reagentes, armário de ferramentas, etc.).
- Sempre que possível, há visibilidade através de paredes transparentes entre os laboratórios e as salas de apoio.
- Os laboratórios têm uma organização espacial flexível, com bancadas amplas e amovíveis (0,80 m x 1,80 m) para 3 a 6 alunos, que permitem trabalho

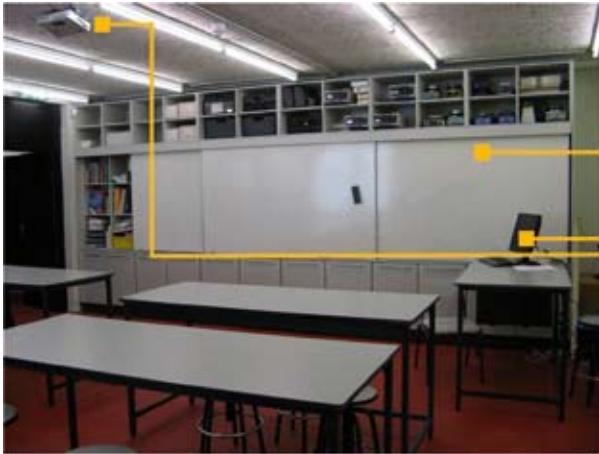
em pé ou sentado em bancos.

- As paredes laterais têm bancadas fixas com pontos de água, calha técnica e prateleira a toda a extensão. Sob as bancadas existem armários para arrumação. As bancadas amovíveis permitem diferentes configurações, podendo ser colocadas afastadas ou junto às bancadas laterais de modo rápido e silencioso.
- As superfícies das bancadas laterais são resistentes aos principais produtos químicos e ao fogo.
- Alguns equipamentos como, por exemplo, a hotte móvel, podem ser deslocados da sala de apoio para qualquer dos laboratórios. O interior da hotte é visível de qualquer das suas faces laterais.
- Todos os laboratórios têm acesso à Internet, computador e projector.
- O quadro branco é também uma área de projecção de computador e estende-se por toda a parede frontal, estando integrado numa vasta área de arrumação.
- Há espaços previstos para as diversas necessidades de arrumação, incluindo mochilas e casacos (na antecâmara de entrada nos laboratórios).
- Os espaços respeitam as normas de segurança de laboratórios e incluem equipamento activo de segurança.
- Os laboratórios podem ser utilizados com metade ou a totalidade de alunos de uma turma.
- Todas as aulas, com actividades em grupos pequenos,



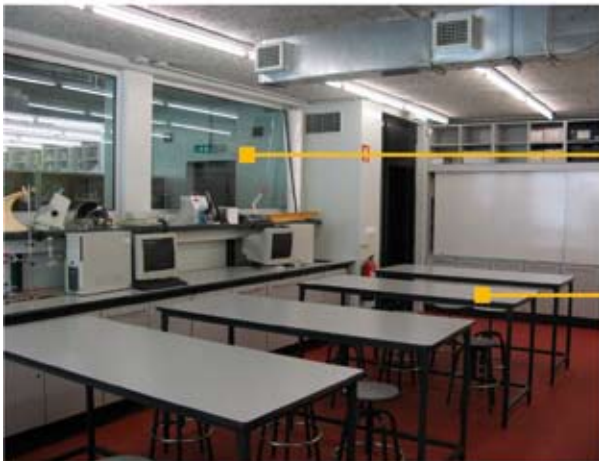
grupos grandes ou demonstração ou ainda essencialmente teóricas, podem ser dadas no laboratório.

Para mais informação e discussão deste artigo utilize a página <http://laboratoriosescolares.net>



Parede de ensino ("teaching wall"): serve de quadro, área de projecção/afixação e zona de arrumação de equipamento e livros

Computador e projector



Sala de apoio, com transparência para o laboratório

3 a 6 alunos. Estas bancadas podem ser dispostas de múltiplas maneiras, incluindo encostadas às bancadas laterais



Calha técnica e prateleira de arrumação

Bancada lateral, com pontos de água e armários

DESCUBRA AS DIFERENÇAS

Era preciso dispor as escolas com todo o material necessário, dividir os alunos em turnos tão pequenos quanto fosse preciso, para que cada um deles, por si só, pudesse executar o seu trabalho com toda a eficiência. Desta coordenação geral do meio não se tratou. O resultado prático foi este: turnos de vinte alunos distribuídos em grupos de 3, 4 ou 5 em redor das mesas, uns a fazer alguma coisa, outros a verem fazer, outros ainda a procurarem, tirar de tudo motivos para brincadeiras e, por entre eles, um professor assoberbado, a atender todos ao mesmo tempo, a reparar neste balão que se pode partir, naquele amperímetro que se pode estragar, naquela balança que está a ser tratada sem cuidado e em mil e uma coisas que estafam e dão rendimento insignificante.

O trabalho prático não precisa de ter elevado interesse científico nem exigir aparelhagem aparatosa. Ao aluno basta-lhe medir ou pesar, mas não como mede o alfaiate ou pesa o merceiro. Tem de criar o espírito de medida, a consciência física do que significa comparar. Parece-nos isto o essencial de tudo. O aluno poderá, na sua vida real, nunca precisar de medir coisa nenhuma. O que precisará sempre, constantemente, dia a dia, é de aplicar a ponderação do seu espírito, o cuidado da sua observação, o sentimento de equilíbrio que resulta do trabalho minucioso que a prática do laboratório lhe ajudará a desenvolver.

Rómulo de Carvalho - Gazeta de Física, Vol I, Fasc. 2, 1947



Qual abana mais?

Constança Providência e Helena Alberto

Material

- cartão grosso
- cartolina A4 de 250 g/m²
- tesoura e fita-cola ou cola

FREQUÊNCIA DE RESSONÂNCIA

Sabias que quando há um terremoto as casas não abanam todas do mesmo modo? Na mesma cidade poderão cair algumas casas e outras não. Porque será? No dia 1 de Novembro de 1755 as casas que caíram primeiro em Lisboa foram as casas altas de pedra e as igrejas. Também o vento poderá colocar um edifício a abanar: os arranha-céus têm de ser construídos de um modo especial para não abanarem.

Que edifícios abanam mais num terremoto ou com o vento?

Faz a seguinte experiência: constrói quatro modelos simples de edifícios em cartolina, um alto e um baixo com o mesmo tipo de cartolina, e dois da mesma altura um de cartolina e outro de cartão grosso.



Quando estiverem prontos poderás testar como eles reagem quando são postos a vibrar. Corta doze tiras de cartolina e três tiras de cartão grosso com dimensões 6 cm x 21 cm e dobra-as em U. Cada tira dobrada representa um andar. O andar da base deve ter dobras adicionais para ser fixado à base. Cola cada andar ao andar de baixo com fita-cola ou cola baton sobrepondo parcialmente as tiras de forma a que os andares fiquem bem ligados uns aos outros. Tem o cuidado de sobrepor sempre o mesmo comprimento em ambos os lados do andar para no final o prédio não ficar inclinado.

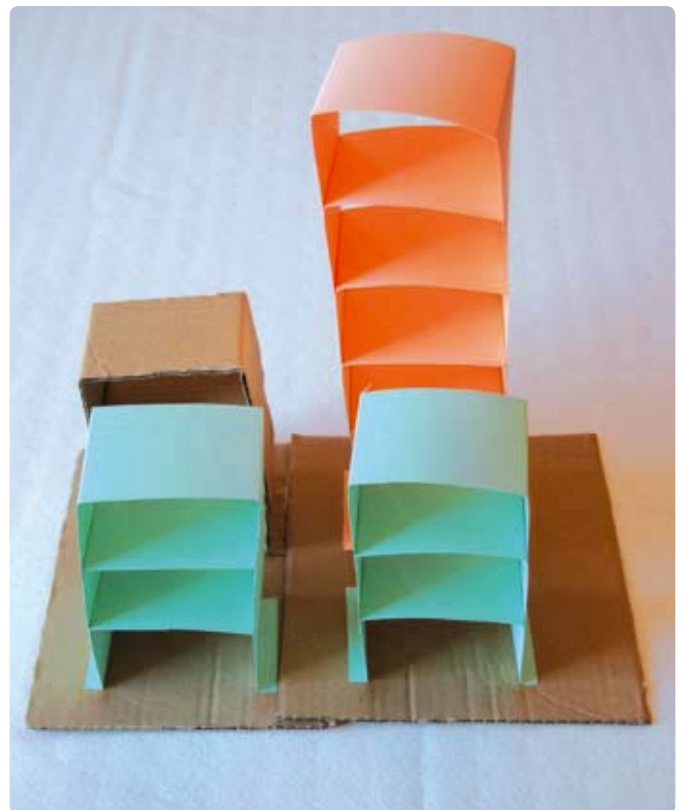
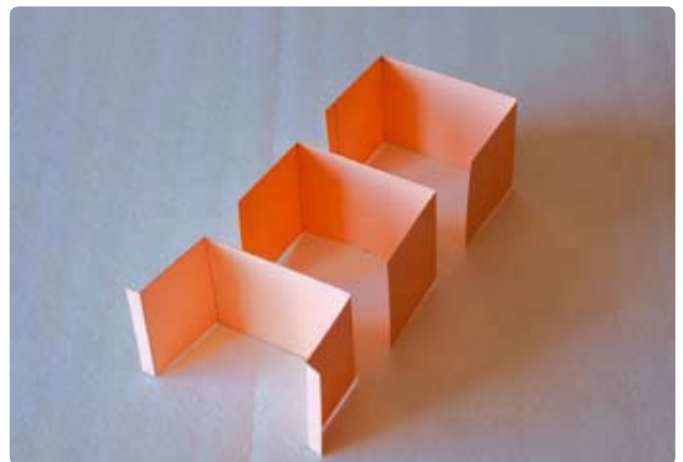
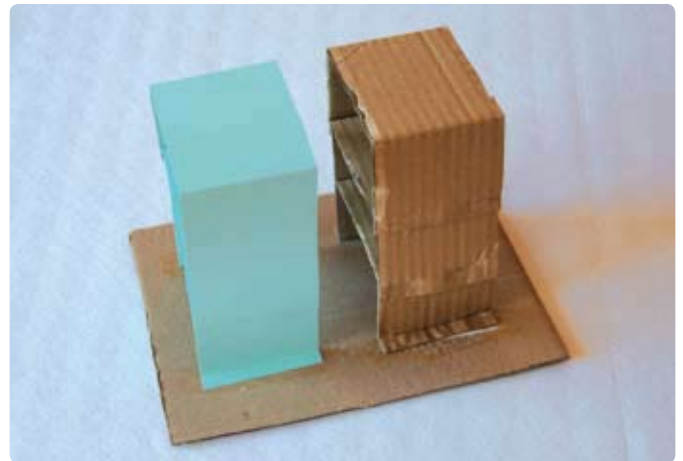
Constrói um prédio de seis andares e um de três andares e fixa-os a uma base de cartão grosso. Com as outras seis tiras constrói dois edifícios de três andares cada, um de cartolina e outro de cartão, e fixa-os a outra base de cartão.

Segura uma base de cada vez com ambas as mãos e põe-a a vibrar, abanando primeiro lentamente e depois rapidamente. O que observas? Repete com a segunda base.

O prédio alto vibra com amplitude elevada quando abanas a base lentamente. Nestas circunstâncias o prédio baixo não vibra. Se abanares a base mais rapidamente, isto é se aumentares a frequência de vibração, encontrarás uma frequência para a qual o prédio baixo vibra com uma amplitude elevada e o prédio alto quase não vibra.

Considera agora a base com ambos os prédios da mesma altura mas feitos com cartão de espessuras diferentes. O prédio de cartão grosso só vibra se abanares muito rapidamente a base. Quando este vibra o prédio de cartolina fina não vibra. O prédio de cartolina vibra se não abanares muito a base, mas, nestas condições o prédio de cartão não vibra.

Cada edifício reage mais a uma determinada frequência de vibração. Esta frequência depende da estrutura do edifício, dos materiais usados na sua construção e da sua altura. Se o sismo tiver uma frequência próxima desta frequência especial, o edifício vibra com grande amplitude. Dizemos que há ressonância. Há sismos em que os edifícios altos vibram mais e há outros em que os edifícios baixos são os mais afectados. Noutros sismos são os edifícios mais flexíveis que vibram e noutros os que têm uma maior rigidez. Tudo depende do tipo de sismo e da sua frequência de vibração. A construção anti-sísmica não impede a vibração, mas pode aumentar a flexibilidade da estrutura de forma a que o prédio vibre como um todo, sem cair. E os arranha-céus terão de ser construídos de modo que o vento não os consiga pôr a vibrar pois ninguém gosta de viver num prédio que abana com o vento!



Bibliografia:

Ciência a brincar: descobre o património!, Constança Providência e Carlos Fiolhais, Editorial Bizâncio, 2008

A história do laser dava uma saga de Hollywood

Gonçalo Figueira e João Mendanha Dias



1960: Theodore Maiman e o primeiro laser

Há certas invenções de tal modo revolucionárias que os seus criadores ficaram imortalizados. Por exemplo, o telefone de Bell, a lâmpada de Edison, o rádio de Marconi. E o laser — no qual assentam todas as comunicações modernas por fibra óptica, o registo de dados em CD, o corte de precisão e a soldadura de materiais, a cirurgia ocular e a leitura de códigos de barras... o mundo seria radicalmente diferente sem o laser; e, no entanto, é uma tarefa complicada definir quem o inventou — tão complicada que se arrasta há mais de 40 anos, com contornos dignos de um filme de Hollywood.

Para compreender o enredo, temos de recuar até Einstein, que em 1916 propôs o conceito de emissão estimulada de radiação: uma espécie de clonagem ao nível atómico, em que um fóton (uma fracção elementar de luz), ao interagir com um átomo excitado, produz outro fóton que é um seu gémeo idêntico. Ambos os fótons têm a mesma cor e viajam na mesma direcção, e além disso oscilam perfeitamente em fase, como atletas de natação sincronizada. Repetindo o processo muitas vezes, obtém-se um feixe de luz extremamente pura, intensa e direccional — graças a estas propriedades, já foi usado um feixe laser

para medir a distância da Terra à Lua com uma precisão de centímetros.

O problema é que a natureza não permite facilmente a criação de matéria no estado excitado adequado, e a ideia de Einstein ficou esquecida durante décadas. Nos anos 50, entra em cena o primeiro protagonista desta história: Charles Townes, professor na Universidade de Columbia (EUA), anuncia a criação de um dispositivo baseado nesse princípio, na região das microondas, a que dá o nome de MASER (abreviatura, em inglês, de Amplificação de Microondas por Emissão Estimulada de Radiação). Essa demonstração valer-lhe-ia o Nobel da Física em 1964, ex-aequo com dois soviéticos que fizeram a mesma descoberta.

Mas Townes cedo percebeu que o verdadeiro prémio seria construir um aparelho que emitisse luz visível, muito mais intensa que as microondas. Por outro lado, a luz visível é muito mais difícil de controlar para obter amplificação. De espírito metódico, Townes, com o colega e cunhado Arthur Schawlow, empreendeu uma análise meticulosa dos requerimentos para se construir o que chamou um maser óptico. Este trabalho resultou num artigo, publicado na revista *Physical Review* em 1958, que desencadeou uma autêntica corrida para a primeira demonstração experimental da ideia.

Entretanto, uma personagem relativamente obscura tinha dado os seus passos isoladamente. Gordon Gould era estudante de doutoramento na mesma universidade, apesar de ter já 37 anos. Tinha tido problemas por ter estado ligado a grupos marxistas, o que era garantia de vida complicada na América desta década. Na sua tese, abordou ideias que despertaram o interesse de Townes, e os dois conversaram algumas vezes, mas os seus caminhos divergiram.

Segundo Gould, numa madrugada de sábado em finais de 1957 teve uma inspiração súbita sobre como resolver o problema da emissão estimulada de luz visível. Escreveu um caderno de notas de um fôlego, com esquemas detalhados, e introduziu o acrónimo LASER (em que o L de “luz” substitui o M de “microondas”). Na segunda-feira autenticou o caderno notarialmente – curiosamente, numa loja de doces – e falou com um advogado sobre o que fazer para registar uma patente. E aqui cometeu o que viria a achar o maior erro da sua vida: ficou convencido de que precisava de construir um laser para o poder patentear, quando bastava ter patenteado a ideia.

Assim, Gould abandonou a tese, arranjou emprego numa empresa científica, e conseguiu convencer os chefes a investir no laser. Em 1959, a agência de defesa americana concedeu-lhes um subsídio de um milhão de dólares – na condição de não participar no projecto, devido ao seu passado comunista. Gould decidiu então patentear a ideia – apenas para descobrir, amargurado, que Townes e Schawlow o tinham feito no ano anterior.

Gould embarcou então numa batalha legal que se prolongaria durante 30 anos, ao fim dos quais obteve o direito a receber dividendos pela utilização do conceito laser. Ironicamente, graças ao espectacular desenvolvimento desta tecnologia durante este período, a recompensa acabou por ser muitas vezes superior à que teria resultado

se a patente tivesse sido imediatamente aceite. Mas, se não há consenso sobre o inventor, quem construiu o primeiro laser? Enquanto Townes e Schawlow analisavam todas as possibilidades, e Gould se enredava nos meandros da justiça, um jovem desconhecido, a trabalhar nos Laboratórios Hughes na Califórnia, insistia em experimentar obter o efeito laser em cristais de rubi – um material que Schawlow tinha afirmado solenemente ser inútil para este fim. Munido de um cristal cor-de-rosa do tamanho de um dedo e uma lâmpada idêntica a um flash fotográfico, no dia 16 de Maio de 1960 Theodore Maiman trouxe ao mundo, pela primeira vez, um impulso laser. Tinha ganho a corrida. Todavia, reconhecimento não foi imediato: o artigo a descrever o aparelho foi rejeitado como “mais um paper sobre masers”. Durante vários anos, cientistas eminentes ridicularizaram o laser como “uma solução à procura de um problema”. Mas o passo fundamental estava dado, apareceram novas áreas científicas possibilitadas pelo laser, e daí a todas as suas aplicações, muitas das quais são pilares essenciais da vida moderna – mesmo se não soubermos bem quem o inventou.

(Nota: este artigo foi originalmente publicado no jornal Público de 6/11/2005, no âmbito das comemorações do Ano Internacional da Física; Theodore Maiman faleceu no dia 5 de Maio de 2007.)



O spray mágico de Obama

A nomeação de Steven Chu

Teresa Peña

AINDA PENSA QUE OS FÍSICOS SÃO COMO O PROFESSOR TORNESOL, DISTRAÍDOS E PREOCUPADOS COM ASSUNTOS SEM INTERESSE, COMO AS ABORRECIDAS OSCILAÇÕES DE UM PÊNDULO? NADA MAIS ERRADO. DESDE GALILEU, OS FÍSICOS, SEMPRE QUE NECESSÁRIO, SAEM DO REFÚGIO MARY POPPINS DO LABORATÓRIO PARA A DUREZA DO MUNDO EXTERIOR. E ARREGAÇAM AS MANGAS. GOSTAM DE PROJECTOS E CAUSAS.

Steven Chu, que se inspirou nas oscilações de um pêndulo para arrefecer átomos com lasers (ver caixa), o que lhe valeu o prémio Nobel da Física de 1997, em conjunto com Claude Cohen-Tannoudji e William D. Phillips, é bem conhecido pela sua preocupação com o aquecimento global. Enquanto director do Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL), cargo que ocupa ao momento da nomeação, Steven Chu incentivou a investigação em energias alternativas, em biocombustíveis e em energia solar. São palavras suas: "Tempestades violentas, glaciares a desaparecer, nevões densos, secas prolongadas e aumento do nível do mar trazem o espectro da falta de alimentos e de água. Os sinais claros de mudança climática que vemos alertam-nos para consequências económicas e sociais que afectarão todos, mas em especial os pobres."

Por isso não é de estranhar que Barack Obama tenha escolhido Steven Chu para responsável máximo da Ciência na nova administração. É o primeiro prémio Nobel a ocupar o cargo, que, por razões intrínsecas à história da ciência americana, se designa por Secretário de Estado da Energia. Steven Chu vai ser a grande autoridade do DOE (*Department of Energy*) - o maior financiador público da investigação científica nos Estados Unidos. Depois dos chuvers de esperança da campanha eleitoral, já eleito, com esta nomeação Obama rega o mundo, aquecido por crises várias e a mudança climática, com um spray mágico que pode vir a diminuir o efeito de estufa.

Em Portugal temos hoje um físico como ministro da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior. Mas nos Estados Unidos o entrelaçamento entre ciência e política veio com os "*founding fathers*", Thomas Jefferson e principalmente Benjamin Franklin, cientista pioneiro no domínio da Electricidade, emergente no século XVIII, e também, como bom iluminista, activista cívico, diplomata e político. No século XIX, Nikola Tesla, Thomas Edison, Alexander Graham Bell transformaram a Electricidade de ciência de salão em engenharia electrotécnica, criando a 2ª revolução industrial. A energia eléctrica, motor ainda do modo de vida de hoje, ajudou à democratização e acesso ao bem estar.

No século XX, o vendaval da segunda grande Guerra varreu os cientistas das melhores universidades americanas para os concentrar em *Los Alamos* num projecto científico-militar, o projecto *Manhattan*. Conduziu à bomba atómica, onde os núcleos dos átomos explodem libertando a enorme energia concentrada. Só o horror do calor dos átomos fez parar o horror da guerra. O pavor a um poder destrutivo inimaginável impôs a paz e a Agência Internacional da Energia Atómica (IAEA) foi criada para garantir uma utilização pacífica da energia atómica. O físico Robert Oppenheimer, o líder científico de Los Alamos, foi nomeado consultor da IAEA. Ao contrário do que Oppenheimer queria, mais tarde a IAEA passou apenas a executar o Tratado de Não Proliferação, assinado para limitar o acesso ao arsenal nuclear, e impor a paz através de um equilíbrio das capacidades em armamento nuclear, uma segurança em que Oppenheimer não acreditava. Se foi a 2ª guerra que trouxe a física (e Oppenheimer) para a política, alguns físicos (como Edward Teller, e já não Oppenheimer) trouxeram a política da guerra fria. Esta fez cair a cortina de ferro tecida com as redes da espionagem. A pressão foi muitas vezes aliviada pelo humor, por exemplo, na caricatura dos filmes de Bond, James Bond, 007, e nos tiques trágico-cómicos da comédia negra *Dr. Strangelove* de Stanley Kubrick.

O século XXI acordou do optimismo resultante do progresso de mais de 60 anos de paz e da multiplicação das democracias na Europa, para a vulnerabilidade do Terra às emissões



de CO₂ e o carácter finito dos recursos energéticos do planeta. Com a agravante de ainda existirem biliões de pessoas sem electricidade no mundo, mais de um século depois de Edison e Tesla. Estudos de 2006 mostraram que em 2050 será necessário obter pelo menos 60% da capacidade de potência energética de outras fontes que não os combustíveis fósseis, como a energia solar, eólica, ou nuclear.

Neste cenário, Steven Chu à frente do DOE é uma mudança que pode criar um novo projecto *Manhattan* juntando muitos cientistas. São palavras dele: “O caminho para encontrarmos soluções é reunir as mentes melhores e e mais apaixonadas para trabalhar no problema num esforço coordenado, dando aos investigadores os recursos adequados ao desafio”. Desta vez o desafio não é acabar uma guerra. Mas impedir muitas guerras. “*I am not opposed to wars. I am opposed to dumb wars*”, disse Obama em 2002 referindo-se à Guerra do Iraque. O desafio é encontrar soluções novas para produção, armazenamento, distribuição e eficiência de energia, e inverter as alterações climáticas.

Apesar das acções de Al Gore, nos Estados Unidos apenas o actor de Hollywood Arnold Schwarzenegger, teve visão e poder para criar soluções legislativas felizes para este problema (infelizmente reduziram-se à Califórnia). O cyborg do *Terminator 2* que Schwarzenegger representou era dotado de um CPU baseado em supercondutores capaz de aprender com os humanos. Mas “*Mr. Chu goes to Washington*” pode vir a ser um filme mais interessante que *Terminator 2*, pois Steven Chu doutorou-se em Berkeley, trabalhou nos laboratórios Bell, em Stanford e no LBNL, já arrefeceu átomos com lasers e manipulou moléculas de ADN, e portanto não vai perder tempo ainda para aprender. Americanos e não-Americanos, físicos ou não, podemos estar contentes com a escolha de Obama, e ter esperança na próxima cimeira pós-Quito.



O PAPEL DO PROFESSOR DO ENSINO SECUNDÁRIO (MEMÓRIAS DE STEVEN CHU)

“O meu professor de física na escola secundária, Thomas Miner, era particularmente dotado. Ainda hoje me lembro como ele apresentava a física. Dissemos que iam lidar com questões muito simples e que o pequeno conjunto de questões que a física podia resolver podia parecer trivial quando comparado com as preocupações humanísticas. (...) O Sr. Miner também encorajava projectos laboratoriais ambiciosos. Durante grande parte do meu último semestre na escola secundária de Garden City, construí um pêndulo e usei-o como instrumento de precisão para medir a gravidade. (...) Vinte anos depois, iria desenvolver uma versão refinada desta medição, usando átomos arrefecidos com laser.”



Teresa Peña é Professora do IST, Vice-Presidente da Sociedade Portuguesa de Física, e directora editorial da Gazeta de Física. Faz investigação em Física Hadrónica e Nuclear e é co-autora, entre outros, do livro “Núcleo, uma viagem ao coração da matéria”.



O coeficiente de restituição

para uma colisão não frontal

Vitor Manuel Figueiredo Pereira,
Escola Secundária de Seia

Manuel Fernando Ferreira da Silva,
Departamento de Física
da Universidade da Beira Interior

No âmbito do estudo da Lei de Conservação do Momento Linear para o Ensino Secundário, introduz-se o grau de inelasticidade de uma colisão “medido” através de um parâmetro chamado coeficiente de restituição (e). No entanto, a definição dada nos manuais em uso, além de muitas vezes pouco rigorosa é válida só para colisões frontais, e nessas enfatizam-se apenas os dois casos extremos: colisões elásticas ($e=1$) e perfeitamente inelásticas ($e=0$). Neste artigo propomos o estudo e a análise de colisões não frontais para o Ensino Secundário. Será ainda discutida uma situação típica simples e proposta a realização de uma actividade prática, o jogo de *snooker*, para explorar de modo lúdico o significado daquele parâmetro.

O INTERESSE DAS COLISÕES A DUAS DIMENSÕES NÃO ELÁSTICAS NEM PERFEITAMENTE INELÁSTICAS

O Programa de Física para o 12.º Ano [1] inclui, na Unidade I – Mecânica, o tema “Centro de Massa e Momento Linear de Sistemas de Partículas”, em que se aplica a Lei de Conservação do Momento Linear. Para não se gerar a ideia de que esta lei apenas se aplica a colisões, é proposta também a análise

de situações de conservação que não sejam colisões (um exemplo é uma explosão [2]-[5]). Quanto às colisões, o grau de elasticidade, para além de estar definido de forma pouco rigorosa em todos os manuais escolares, é usado, exclusivamente, para a análise de colisões a uma dimensão, o que reduz o seu significado físico. Depois, na prática, os manuais acabam por tratar apenas os casos para o coeficiente de restituição $e=1$ (colisão elástica) e $e=0$ (colisão perfeitamente inelástica). No primeiro caso, na resolução de exercícios/problemas de exploração e análise da conservação do momento linear, o coeficiente de restituição nem sequer é utilizado, pois usa-se, normalmente, a conservação da energia cinética. Nas situações correspondentes ao segundo caso, a resolução de exercícios/problemas permite concluir que aquele coeficiente é nulo, não sendo possível extrair mais nenhuma consequência física relevante, a não ser que, após o choque, os corpos se movem juntos.

De facto, as situações físicas mais interessantes que enfatizam e reforçam o significado físico do coeficiente de restituição, são as que dizem respeito a colisões inelásticas a duas dimensões para as quais $0 < e < 1$. No entanto, estes casos, quando abordados no Ensino Secundário, referem-se a situações físicas de colisão oblíqua entre dois corpos, sem se referir explicitamente que o são. Assim, na resolução de exercícios de aplicação, são fornecidos todos os dados necessários (massas dos corpos, velocidades iniciais e,

por exemplo, os ângulos de deflexão dos corpos após o choque, relativamente a uma direcção bem definida que, normalmente, coincide com a trajectória do centro de massa de um dos corpos). De seguida, definindo um sistema de referência inercial, aplica-se a lei de conservação do momento linear ao sistema em estudo e, atendendo ao carácter vectorial desta lei, resultam duas equações com apenas duas incógnitas: os módulos das velocidades dos corpos após o choque. Sendo o sistema de equações resolúvel analiticamente, a partir das soluções encontradas é possível exprimir a velocidade de cada corpo após a colisão, em relação ao referencial inercial previamente escolhido. Com esta estratégia contorna-se a necessidade do uso explícito do coeficiente de restituição.

Quanto a trabalho laboratorial, o caso de choque frontal inelástico envolvendo o conceito de coeficiente de restituição é tratado nos manuais apenas quando um dos corpos intervenientes na colisão se encontra em repouso relativamente a um referencial inercial. Um exemplo disso é o que acontece na realização do Trabalho Laboratorial TL 1.4 COLISÕES, de carácter obrigatório, no qual se propõe a determinação experimental do coeficiente de restituição de dois materiais que colidem: um carrinho que se move sobre uma calha de ar e uma parte fixa dessa mesma calha. Um outro exemplo é o caso de uma bola que se deixa cair sobre o chão a partir de uma certa altura, actividade conhecida por “bola saltitona”.

Em complemento, aqui propomos uma outra actividade prática, lúdica mas didáctica, para levar mais longe a exploração deste tópico, proporcionando aos alunos situações de aprendizagem ancoradas nas suas experiências quotidianas dos fenómenos físicos.

AS TRANSFORMAÇÕES DE ENERGIA NUM CHOQUE

Um choque entre corpos envolve a deformação destes e a sua posterior recuperação, a qual só terá lugar na condição do choque não ser excessivamente violento. Num choque ocorre aumento da energia interna dos corpos, como consequência da conversão de parte da energia cinética inicial em energia potencial associada à deformação, elástica ou permanente, e é produzido som devido à vibração da estrutura interna de cada um dos corpos. Isto acarreta uma diminuição da energia cinética inicial do sistema de corpos, excepto se a colisão for elástica. Nesta ocorre uma restituição total da energia cinética após o choque pelo facto de toda a energia potencial elástica de deformação se reconverter em energia cinética.

Pode-se pois em geral considerar que um choque se decompõe em dois períodos distintos: primeiro um período de deformação ou compressão, que ocorre no intervalo $[0, t_d]$ até se atingir a deformação máxima dos corpos compatível com a energia cinética inicial, seguido de um período de recuperação, no intervalo $[t_d, t_c]$ onde acontece a restituição (*total* – colisão elástica; *parcial* – colisão inelástica; *nula* – colisão perfeitamente inelástica) da energia cinética inicial, sendo t_c o tempo de contacto ou a duração total do choque.

O CASO A UMA DIMENSÃO: CHOQUE FRONTAL

Consideremos o caso simples do movimento colinear de duas esferas do mesmo tamanho, de massas m_1 e m_2 , como ilustra a Fig. 1.

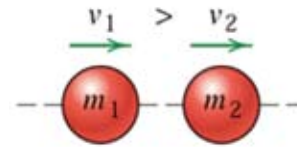


Figura 1 - Choque frontal entre duas esferas; situação antes do choque.

Se $v_1 > v_2$, ocorre colisão e as forças de contacto têm uma direcção que passa pelo centro das esferas – o choque diz-se *frontal*. As velocidades são aqui tratadas como quantidades escalares, e arbitrariamente considerados como positivas para a direita e negativas para a esquerda. Imediatamente após o contacto inicial, ocorre o período de deformação, no intervalo de tempo $[0, t_d]$, até a área de contacto entre as esferas parar de aumentar. No instante t_d , correspondente à deformação máxima durante o choque, as esferas movem-se com a mesma velocidade v_0 (Fig. 2).

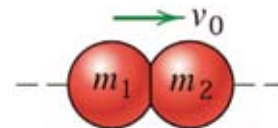


Figura 2 - Choque frontal entre duas esferas; situação em que ocorre a deformação máxima.

No intervalo de tempo $[t_d, t_c]$ tem lugar o período de recuperação, durante o qual a área de contacto diminui até se anular. Após a perda de contacto, as esferas têm novas velocidades, v_1' e v_2' , para as quais se verifica $v_1' < v_2'$ (Fig. 3).

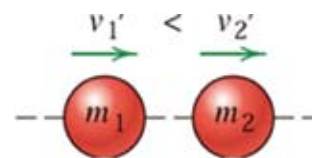


Figura 3 - Choque frontal entre duas esferas; situação após o choque.

Se o choque não for excessivamente violento e se a deformação provocada nas esferas durante o contacto for altamente elástica, durante o período de recuperação as esferas regressam à sua forma inicial. Para choques de maior violência envolvendo corpos menos elásticos, pode resultar uma deformação permanente. Como as forças de contacto são iguais e opostas durante o choque, constituindo um par

acção – reacção, o momento linear total do sistema conserva-se: é o resultado do Teorema do Impulso e do Momento Linear para um sistema de partículas: a variação do momento linear de um sistema é igual ao impulso produzido pelas forças exteriores,

$$I_{\text{ext}} = \Delta p_{\text{sist}}, \quad (1)$$

onde, explicitamente,

$$I_{\text{ext}} = \int_{t_0}^{t_f} F_{\text{ext}}^{\text{res}} dt, \quad (2)$$

sendo $F_{\text{ext}}^{\text{res}}$ a resultante das forças exteriores. Para os alunos do ensino secundário, a relação (1) é entendida através do conceito de força média envolvida no intervalo de tempo em que ocorre o contacto entre os corpos (isto é, durante a colisão). Aplicando a Lei de Conservação do Momento Linear resulta a equação escalar

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v_1' + m_2 v_2'. \quad (3)$$

Para que esta equação seja válida, temos de admitir que o impulso produzido pelas forças exteriores sobre o sistema é desprezável face ao momento linear inicial do sistema¹.

A CAPACIDADE DE RECUPERAR A ESTRUTURA DEPOIS DO CHOQUE É O COEFICIENTE DE RESTITUIÇÃO

Conhecidas as massas das esferas e as condições cinemáticas iniciais, a eq. (2) contém duas incógnitas: v_1' e v_2' . Precisamos de uma relação adicional para determinar as velocidades das esferas após o choque. Esta relação deve traduzir a capacidade das esferas em recuperar do choque, e pode exprimir-se através do quociente entre a intensidade do impulso produzido pelas forças de contacto no período de recuperação e a intensidade do impulso gerado no período de deformação por aquelas forças¹. Este quociente chama-se coeficiente de restituição (e). Designemos por F_d e F_r , respectivamente, as intensidades das forças de contacto durante os períodos de deformação e de recuperação, como mostra a Fig. 4.

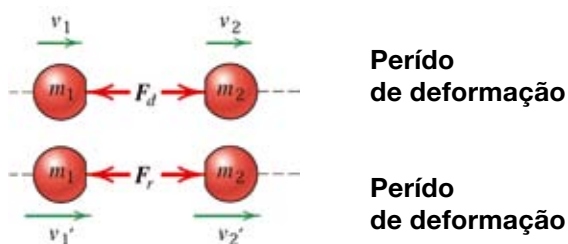


Figura 4 - Forças de contacto durante o choque frontal entre duas esferas.

Atendendo à definição do coeficiente de restituição, este parâmetro é adimensional; na prática, $0 \leq e \leq 1$. Para a esfera 1, usando a definição de e e conjuntamente com (1), podemos escrever

$$e = \frac{I_r}{I_d} = \frac{\int_{t_0}^{t_f} F_r dt}{\int_{t_0}^{t_f} F_d dt} = \frac{m_1[-v_1' - (-v_0)]}{m_1[-v_0 - (-v_1)]} = \frac{v_0 - v_1'}{v_1 - v_0} \quad (4)$$

Analogamente, para a esfera 2, temos

$$e = \frac{I_r}{I_d} = \frac{\int_{t_0}^{t_f} F_r dt}{\int_{t_0}^{t_f} F_d dt} = \frac{m_2[v_2' - v_0]}{m_2[v_0 - v_2]} = \frac{v_2' - v_0}{v_0 - v_2}. \quad (5)$$

Devemos ser cuidadosos nestas equações ao expressar a variação do momento linear de cada esfera, $\Delta p_1 = m_1 \Delta v_1$ e $\Delta p_2 = m_2 \Delta v_2$, no sentido do correspondente impulso. Eliminando v_0 em (3) e (4) resulta

$$e = \frac{v_2' - v_1'}{v_1 - v_2}, \quad (6)$$

ou seja, e corresponde ao quociente entre o módulo da velocidade relativa de afastamento e o módulo da velocidade relativa de aproximação. Os valores das velocidades podem ser positivos ou negativos, pois isso só depende do referencial escolhido, mas o valor de e é sempre positivo. Este parâmetro de colisão é considerado uma constante para geometrias conhecidas e uma dada combinação de materiais. Isto não é rigoroso, pois o coeficiente de restituição depende da velocidade relativa do choque e aproxima-se da unidade quando a velocidade relativa do choque tende para zero. Assim sendo, os valores de e relativos a determinados pares de materiais que são apresentados em tabelas não se aplicam sempre.

Se numa colisão forem conhecidas as massas dos corpos, as velocidades iniciais e o coeficiente de restituição, então as equações (2) e (5) permitem a determinação de v_1' e v_2' .

COLISÕES NÃO FRONTAIS OU OBLÍQUAS

Numa colisão não frontal, as velocidades iniciais não estão na linha que une os centros dos corpos. Consideremos a Figura 5(a) que mostra dois corpos esféricos, com velocidades iniciais v_1 e v_2 , em rota de colisão.

1 Sendo o tempo de actuação da força muito pequeno, isto é, quando na prática a interacção é instantânea, a condição verifica-se sempre que a força seja finita (N.E.) Lisboa, colisão; ver [7].

2 Seguimos de perto [6]. Existem outras maneiras de definir este parâmetro para uma colisão; ver [7].

COLISÃO (PERFEITAMENTE) ELÁSTICA

Neste tipo de colisão, a capacidade de recuperação dos corpos após o choque é igual à sua capacidade para se deformarem. Logo, nestas colisões não ocorre diminuição da energia cinética total do sistema, permanecendo o seu valor inalterado – **conservação da energia cinética**. Usando as equações (2), (5) e a conservação da energia cinética

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 = \frac{1}{2} m_1 v_1'^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2'^2, \quad (7)$$

é fácil verificar que, neste caso, $e=1$ e que as velocidades dos corpos após a colisão são

$$v_1' = \frac{v_1(m_1 - m_2) + 2m_2 v_2}{m_1 + m_2} \quad e \quad (8)$$

$$v_2' = \frac{v_2(m_2 - m_1) + 2m_1 v_1}{m_1 + m_2}. \quad (9)$$

COLISÃO PERFEITAMENTE INELÁSTICA

Nos choques perfeitamente inelásticos (ou plásticos) ocorre a diminuição máxima da energia cinética e, por isso, os corpos ficam unidos após a colisão, adquirindo a mesma velocidade final. Isso significa que a velocidade relativa de afastamento dos corpos é nula e, conseqüentemente, este tipo de colisões é descrito por $e=0$. Como neste caso a energia cinética do sistema não se conserva, para determinar v_1' e v_2' basta fazer uso da equação (2) tendo em conta que $v_1'=v_2'$, resultando

$$v_1' = v_2' = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}, \quad (10)$$

correspondente à velocidade do centro de massa do sistema.

COLISÃO INELÁSTICA

As colisões mais comuns que ocorrem à nossa volta situam-se entre os dois extremos referidos anteriormente. Designam-se por colisões inelásticas e são descritas por um coeficiente de restituição situado no intervalo $0 < e < 1$. Nesta situação a energia cinética diminui sempre, tanto mais quanto mais pequeno for o valor de e . Usando as equações (2) e (5) e alguma manipulação algébrica, obtém-se

$$v_1' = \frac{v_1(m_1 - em_2) + m_2(1+e)v_2}{m_1 + m_2} \quad e \quad (11)$$

$$v_2' = \frac{v_2(m_2 - em_1) + m_1(1+e)v_1}{m_1 + m_2}. \quad (12)$$

Sendo este o caso mais geral, as eqs. (8) e (9) podem ser obtidas directamente a partir de (11) e (12) substituindo nestas $e=1$, e a eq. (10) resulta após substituir $e=0$.

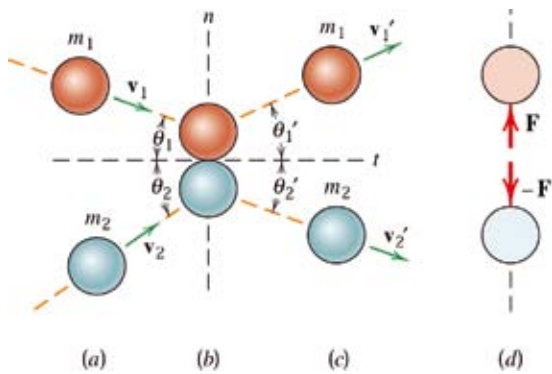


Figura 4 - Forças de contacto durante o choque frontal entre duas esferas.

As direcções dos vectores velocidade são medidas em relação à direcção tangente à superfície de contacto [Fig. 5(b)]. As componentes das velocidades iniciais segundo os eixos t (tangencial) e n (normal) são:

$$v_{1t} = v_1 \cos \theta_1; v_{1n} = -v_1 \sin \theta_1 \quad (13)$$

$$v_{2t} = v_2 \cos \theta_2; v_{2n} = v_2 \sin \theta_2. \quad (14)$$

A Fig. 5(c) mostra as condições após a colisão. As forças de contacto, F e $-F$, são ilustradas na Fig. 5(d). A intensidade de cada uma destas forças [Fig. 5(e)], varia desde zero, no início do contacto, aumentando no período de deformação até atingir o seu máximo no instante t_d , voltando a diminuir durante o período de recuperação até se anular, no instante t_c . Dados os valores de m_1 e m_2 e as condições iniciais v_{1t} , v_{1n} , v_{2t} , e v_{2n} , temos quatro incógnitas, v'_{1t} , v'_{1n} , v'_{2t} , e v'_{2n} , necessárias para a descrição da cinemática final. Precisamos, pois, de quatro equações que se obtêm do seguinte modo:

1ª e 2ª equações – na direcção t , o impulso produzido sobre cada corpo é nulo, pois nessa direcção não há forças aplicadas; de $I = \Delta p$ resulta $\Delta p = 0$ para cada corpo, logo o momento linear de cada um deles conserva-se segundo esta direcção, resultando

$$v_{1t} = v'_{1t} \quad (15)$$

$$v_{2t} = v'_{2t}; \quad (16)$$

3ª equação – na direcção n tudo se passa como se de um choque frontal se tratasse, conservando-se o momento linear do sistema nessa direcção

$$m_1 v_{1n} + m_2 v_{2n} = m_1 v'_{1n} + m_2 v'_{2n}; \quad (16)$$

4ª equação – como já observámos, segundo a direcção n tudo se passa como no choque frontal; logo, por generalização, o coeficiente de restituição para a colisão não frontal é

$$e = \frac{v'_{2n} - v'_{1n}}{v_{1n} - v_{2n}} \quad (18)$$

Conhecendo e , m_1 , m_2 , v_{1t} , v_{1n} , v_{2t} , e v_{2n} , (ou, equivalentemente, v_1 , v_2 , θ_1 e θ_2), as quatro equações (15), (16), (17) e (18) permitem a determinação de v'_{1t} , v'_{1n} , v'_{2t} , e v'_{2n} , o que, por sua vez, permite obter facilmente v'_1 , v'_2 e os ângulos θ'_1 e θ'_2 .

COLISÕES NÃO FRONTAIS OU OBLÍQUAS

Considere-se o seguinte enunciado:

Na mesa de snooker da figura pretende-se inserir a bola B no buraco lateral D , sabendo que a bola deverá ressaltar na tabela. Desprezam-se os efeitos de rolamento e os atritos entre a bola e a mesa. Determine a localização x do ponto C , em função da distância d , e particularize para os seguintes coeficientes de restituição relativos ao par de materiais bola + tabela: a) $e=1$; b) $e=0,8$.

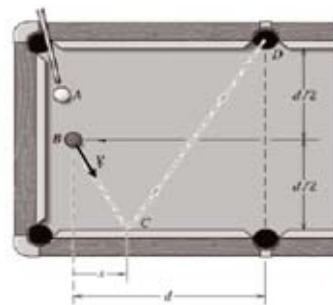


Figura 6 - Aplicação ao jogo de snooker.

Trata-se de um exercício de aplicação [7, p. 221; 3/256] que facilmente se poderá transformar num problema bastando, para isso, solicitar aos alunos que investiguem quais os factores de que dependerá, explicitamente, a localização do ponto C sem fornecer quaisquer dados sobre o coeficiente de restituição.

COLISÕES NÃO FRONTAIS OU OBLÍQUAS

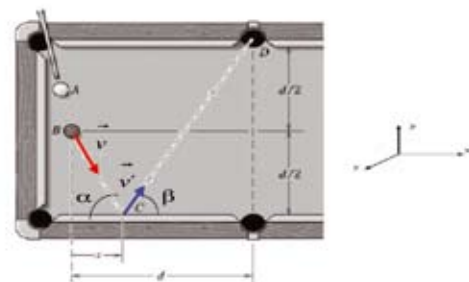


Figura 7 - Análise da colisão entre a bola e a tabela da mesa.

De acordo com o sistema de referência escolhido, a direcção x é o eixo tangencial e a direcção y é o eixo normal. Corpo 1 – Bola (m_B): $v_1=v$, $v'_1=v'$; corpo 2 –



Tabela: $v_2 = v'_2 = 0$.

Da análise da configuração representada na Fig. 7 resulta:

$$\tan \alpha = \frac{d/2}{x} = \frac{d}{2x} \quad (19)$$

$$\tan \beta = \frac{d}{d-x}, \quad (20)$$

$$v = v \cos \alpha \hat{i} - v \sin \alpha \hat{j} \quad \text{e} \quad v' = v' \cos \beta \hat{i} + v' \sin \beta \hat{j}. \quad (21)$$

O coeficiente de restituição para o par de materiais bola+tabela, de acordo com (18), é dado pela relação

$$e = \frac{v'_{2n} - v'_{1n}}{v_{1n} - v_{2n}} = \frac{0 - v' \sin \beta}{-v \sin \alpha - 0} = \frac{v' \sin \beta}{v \sin \alpha}, \quad (22)$$

resultado

$$v' \sin \beta = e v \sin \alpha. \quad (23)$$

O momento linear da bola é conservado na direcção x , uma vez que segundo esta direcção não há força exterior a actuar sobre a bola, isto é,

$$I_{1x} = \Delta p_{1x} \Rightarrow p_{1x_i} = p_{1x_f} \Leftrightarrow m_B v \cos \alpha = m_B v' \cos \beta, \quad (24)$$

obtendo-se a relação

$$v \cos \alpha = v' \cos \beta. \quad (25)$$

Dividindo membro a membro a equação (23) pela equação (25) resulta

$$\tan \beta = e \tan \alpha. \quad (26)$$

A equação (26) permite concluir que a relação entre os ângulos depende exclusivamente do coeficiente de restituição e como, por definição, $0 \leq e \leq 1$, verifica-se, facilmente, que $\alpha \geq \beta$. O caso $e=1$ (colisão elástica) está associado à "lei da reflexão" $\alpha = \beta$.

Partindo da equação (26) e usando (19) e (20), resulta

$$x = \frac{e}{2+e} d \quad (27)$$

CONCLUSÕES A RETIRAR:

- colisão elástica: $e = 1 \Rightarrow \alpha = d/3$;
- colisão inelástica: $e = 0,8 \Rightarrow \alpha = 2d/7$.
- quanto mais elevado for o valor de e (isto é, quanto mais próxima de uma colisão elástica for a colisão), maior será a localização x ;
- se a colisão for elástica ($e=1$), $\alpha = \beta \approx 56^\circ$;
- quando $e < 1$, verifica-se $\tan \beta < \tan \alpha \Leftrightarrow \alpha > \beta$;
- quanto mais pequeno for o valor de e , menor será o ângulo β e maior será o ângulo α . No limite $e \rightarrow 0$ (colisão perfeitamente inelástica), $\beta \rightarrow 45^\circ$ e $\alpha \rightarrow 90^\circ$.

É interessante para os alunos testar todas estas conclusões através do jogo de snooker. Propomos, por isso, que utilizem uma mesa de snooker, usando bolas de diferentes coeficientes de restituição relativamente à tabela da mesa de jogo. Este contexto lúdico é também uma actividade didáctica através da qual os alunos serão conduzidos a uma compreensão do papel desempenhado por e nas colisões inelásticas a duas dimensões que, de resto, ocorrem frequentemente. A posição inicial da bola deverá variar sobre a mesa, assim como o buraco onde se pretende introduzir a bola, de modo a proporcionar diferentes configurações iniciais. Os alunos podem refazer todos os cálculos para diferentes características de configuração do sistema. Deve-se permitir que os alunos construam as mais variadas situações, valorizando o espírito criativo e a análise crítica. Deverá ser dada particular ênfase à diferença entre as condições reais em que é realizada a experiência e as condições ideais indicadas no enunciado do exercício. Pensamos que a abordagem do assunto colisões proposta pelo programa e os manuais escolares limita, criando dificuldades à compreensão do conceito de parâmetro de impacto. Por outro lado, a generalização do conceito de coeficiente de restituição para uma colisão não frontal é bastante simples para os alunos do Ensino Secundário, e permite o contacto com a sua experiência concreta da vida real. Basta reconhecer que, neste tipo de colisões, na direcção perpendicular à tangente da superfície de contacto entre os corpos tudo se passa como se fosse um choque frontal, situação amplamente explorada nas aulas de Física do 12.º Ano. As aulas de resolução de exercícios/problemas podem ser seguidas de uma metodologia próxima da aqui apresentada.

Referências

- [1] Ministério da Educação. Programa de Física 12.º Ano. M.E.D.G.D.I.C. www.min-edu.pt
- [2] G. Ventura, M. Fiolhais, C. Fiolhais, J. A. Paixão, 12 F - Física 12.º Ano. Texto Editores, 2005
- [3] A. Belo, H. Caldeira, J. Gomes, Física Ontem e Hoje! - Física 12.º Ano. Porto Editora (2005).
- [4] N. Maciel, M. M. Gradim, M. J. Campante, J. E. Villate, Eu e a Física - Física 12.º Ano. Porto Editora (2005).
- [5] D. M. Silva, Vencer Desafios - Exercícios Física 12.º Ano. Lisboa Editora (2006).
- [6] J. L. Meriam, L. G. Kraige, Dynamics - vol. 2 - 3rd edition. Wiley (1996).
- [7] W. J. Stronge, Impact Mechanics. Cambridge University Press (2000).



Participação Portuguesa

Escola de Verão no CERN

Anabela Fernandes e Filipa Oliveira

Entre os dias 1 e 5 de Setembro de 2008 decorreu no CERN, na Suíça, uma escola de Verão organizada pelo Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas (LIP) e pelo CERN, com o apoio da Agência Ciência Viva. Esta Escola contou com a participação de 45 professores da área da Física e da Química, provenientes de todo o país.

Durante este estágio tivemos a oportunidade de assistir e participar em várias palestras, realizadas por investigadores a trabalhar no CERN, sobre Física de Partículas e suas aplicações na medicina, sobre detectores, aceleradores, entre outras. Além da componente teórica, pudemos usufruir de várias visitas interessantes, como por exemplo, descer ao detector CMS do acelerador LHC (a uma profundidade de 100m) ou ao centro de controlo do Grande Colisionador Hadrónico (LHC).

Queremos sublinhar a excelente organização deste estágio, não só relativamente à sequência com que os vários assuntos teóricos foram abordados, mas também à aplicação destes no contexto prático, que se traduziu nas visitas às experiências e aos detectores. O entusiasmo e o ambiente informal que se gerou entre todos os participantes contribuiu para que houvesse discussão, troca de ideias e partilha de conhecimentos, o que tornou este estágio ainda mais enriquecedor.

Cabe-nos a nós, professores, aproveitar agora esta experiência única e sermos embaixadores do CERN nos nossos locais de trabalho, partilhando desta forma todo o conhecimento adquirido. Os conteúdos apresentados nas várias palestras estão disponíveis para todos os colegas que os queiram utilizar, em formato PDF e/ou Microsoft Office Powerpoint, a

partir de http://www.lip.pt/cern_em_portugues/. Da nossa parte, sentimo-nos bastante motivadas em organizar ao longo deste ano lectivo algumas actividades dirigidas a alunos e colegas, tais como:

- palestras com cientistas convidados e sessões de divulgação sobre o CERN, enfatizando a sua missão de dar resposta a questões tão fundamentais da Natureza como “O que é a matéria?”, “De que é feita?”, “Qual a sua origem?”, questões estas que fascinam qualquer aluno;
- levar os alunos a participar nas MasterClasses, “Hands on Particles”, que se realizam em Março em várias instituições de investigação em Física de Partículas;
- envolver os alunos mais velhos na montagem de uma exposição com alguns dos materiais que nos foram fornecidos, explicando os conteúdos dos cartazes aos mais novos;
- visualização de pequenos filmes sobre várias experiências a decorrer no CERN.

Certamente que muitos dos colegas que estiveram conosco neste estágio terão outras sugestões de actividades aliciantes a dinamizar com os seus alunos, despertando nestes o interesse para o estudo da Física.

Embora a Física de Partículas não faça parte dos programas curriculares do ensino secundário, podemos enriquecer alguns dos conteúdos programáticos com a referência a aplicações directas e reais, como por exemplo, do electromagnetismo, na construção do LHC, ou da estrutura da matéria, construindo com os alunos uma câmara de nevoeiro.

Este tipo de iniciativas é fundamental na nossa formação contínua, pois o nosso papel é muitas vezes determinante no encaminhamento dos alunos para o estudo da Física.

Um agradecimento muito especial a todos aqueles que contribuíram para o sucesso deste estágio e que nos fizeram sentir importantes na formação científica dos nossos jovens.



Entrevista com Gérard Mourou

Gonçalo Figueira

Durante os últimos trinta anos, Gérard A. Mourou tem sido um pioneiro no campo dos lasers de grande intensidade e curta duração, sendo a sua principal contribuição científica a descoberta da técnica CPA (ver pág.9). Neste período, foi director de diversos centros de investigação nas universidades de Rochester e Michigan (EUA). Actualmente, é director do Laboratoire d'Optique Appliquée (LOA, Palaiseau, França), docente da École Polytechnique e coordenador do projecto ELI. É autor de mais de 400 artigos científicos, que foram citados mais de dez milhares de vezes - só o artigo original sobre a técnica CPA (1984) ultrapassa as 1100 citações. Recebeu várias distinções, incluindo o Prémio R. W. Wood da Sociedade Americana de Óptica, dedicado a descobertas excepcionais no campo de ciência ultra-rápida. É membro (*fellow*) das principais sociedades científicas de óptica, e recentemente foi eleito membro da secção de Física da prestigiosa Academia de Ciências Russa. Conversámos com ele durante uma sua recente visita a Lisboa, no âmbito da preparação do projecto ELI.

GF - Qualquer físico que se inicie em lasers associa automaticamente o seu nome à técnica de CPA. Trata-se evidentemente um contributo notável para a ciência, pelo qual recebeu vários prémios importantes. Mas a verdade é que esteve também envolvido em muitas outras descobertas e resultados em ciência ultra-rápida, desde a electrónica de terahertz e a cirurgia de precisão na escala do femtossegundo até à micromaquinação e filamentação de femtossegundos. Pessoalmente, qual destas conquistas o entusiasmou mais?

GM - A que mais me entusiasmou foi sem dúvida a CPA, porque foi esta que tornou tudo o resto possível. Hoje em dia, todas as aplicações que precisam de algum tipo de amplificação de impulsos de curta duração usam a técnica CPA. É precisamente o caso da filamentação, da micromaquinação e das aplicações em oftalmologia... De facto, todas estas aplicações foram demonstradas depois da CPA. Quando desenvolvi o CPA, estava no Laboratory for Laser Electronics em Rochester, NY, onde todo o edifício era ocupado um laser de terawatt. Assim, ficámos muito entusiasmados ao ver que tínhamos conseguido criar um laser de terawatt que cabia no tampo de uma mesa! Conseguimos ir do gigawatt até ao terawatt com um laser do mesmo tamanho. Foi extraordinário. Resultados como estes não acontecem muitas vezes na vida de um cientista. Repare-se que a CPA não só aumentou a potência de pico de cada impulso laser de um enorme factor - mais de 10^3 - mas também a potência média do trem de impulsos aumentou de um factor de 10^3 , da ordem do mW para a ordem do watt. Gostaria ainda de dizer que também fiquei muito entusiasmado quando pela primeira vez pudemos ver ondas com resoluções da ordem do femtossegundo, através da técnica de amostragem electro-óptica ou de

transformação de fase com difracção de electrões ao nível do picossegundo. Quero ainda referir em particular a oftalmologia ao nível do femtossegundo, que também iniciámos na Universidade de Michigan, provavelmente a aplicação do laser de femtossegundo com maior importância social, pois até hoje já permitiu realizar milhões de operações.

GF - Outra coisa notável na sua carreira é o número de empresas (*spinoffs*) que apoiou, directa ou indirectamente. Mencionou que a sua opção pessoal é fazer investigação em ambiente universitário, e depois levar as inovações tecnológicas até ao mercado. Porque escolheu esta abordagem? Sente que tem mais liberdade científica numa universidade do que numa empresa de investigação?

GM - Se formos capazes de a gerir com a componente de ensino, a investigação numa universidade dá-nos o máximo de liberdade. Na investigação nunca se sabe o que se vai encontrar. As melhores descobertas, é claro, são as que não foram planeadas. É preciso estar preparado para as surpresas, que podem perfeitamente acontecer numa área de conhecimento que não é a nossa especialidade. É preciso ser capaz de mudar a direcção. Para começar uma *spinoff* são precisas três coisas. A primeira é ser capaz de reconhecer uma ideia que pode dar origem a um produto. Esta é óbvia, e é a mais fácil das três. A segunda, e a mais importante, é ter no laboratório em que se trabalha um investigador, um pós-doutorando ou um estudante com mentalidade empresarial, capaz de dedicar a sua vida à empresa.

Isto não é um exagero, porque criar uma empresa dá muito trabalho. A terceira é ter um director de investigação que ajude os empreendedores a navegar entre a burocracia, e que mantenha os laboratórios de investigação acessíveis. Não nos podemos esquecer de que uma *start-up* é muito frágil e precisa de ser tratada com muito cuidado e atenção.

GF - Neste momento surge a liderar o laser ELI, um projecto internacional que agrega pessoas de vários países europeus, com o objectivo de construir o laser mais intenso de sempre. Ou seja, consegue estar simultaneamente nos primórdios e na vanguarda da tecnologia de lasers de alta potência. Na sua opinião, o que mudou nestes vinte anos?

GM - É uma situação muito empolgante e recompensadora. Nunca poderia ter imaginado que algum dia pudéssemos vir a atingir as potências em que estamos a pensar hoje. Se antes da CPA estávamos ao nível do gigawatt, com a CPA demos um salto para o nível do terawatt, abrindo as portas para o petawatt. Com o projeto ELI, rumamos em direcção ao exawatt (10 kJ em 10 fs).

A física dos lasers e as suas aplicações foram completamente revolucionadas. Estamos agora sem sombra de dúvida num regime em que o movimento dos electrões é dominado pela dinâmica relativista. Conseguimos acelerá-los ao longo de curtas distâncias dando origem a feixes de electrões de alta energia, que por sua vez podem gerar feixes de radiação de alta energia. Na óptica relativista, abandonamos o regime de electrões presos ao núcleo em favor de outro dominado pelo movimento relativista dos electrões. E então com o ELI, iremos entrar no que chamamos o regime ultra-relativista, em que tanto os electrões como os iões se movem em uníssono a velocidades relativistas. A sua interacção dará origem a feixes de partículas altamente energéticos (GeV) de excelente qualidade (baixa emitância), que encontram aplicação na forma de aceleradores compactos hospitalares para produção de radioisótopos, obtenção de imagens de raios-x, ou terapia de hadrões para tratamento do cancro.

GF - Trabalhou em França e nos Estados Unidos, e possui dupla cidadania. Como compara a experiência de levar a cabo investigação de alto nível nos dois continentes (Europa vs. EUA)?

GM - Nos EUA, após a cisão da AT&T, a maior parte da investigação fundamental é feita nas universidades, individualmente pelos professores, em conjunto com os seus cinco e tal doutorandos e pós-doutorandos. O sistema de recompensas incentiva o corpo docente a ser independente; não favorece a colaboração. Além disso, não há pessoal investigador permanente nas universidades, como existe no CNRS. Toda a investigação é realizada recorrendo a doutorandos e pós-doutorandos: o aluno graduado é o pilar do sistema de investigação americano. Um Doutoramento leva cerca de cinco anos, e os estudantes também são treinados para se tornarem independentes. Os únicos

“empregados” em permanência são os professores. Em Rochester eu dispunha apenas de estudantes. No Michigan, e após uma renhida concorrência, consegui obter um dos Centros de Excelência criados pela National Science Foundation – o CUOS (Center for Ultrafast Optical Science) – que foi o único centro da NSF na área de óptica. Então, conseguimos contratar alguns cientistas. Mas era pessoal pago através de uma bolsa da NSF, continuava a não ser permanente. Aqui na Europa, pelo menos em França, há sempre à disposição uma certa quantidade de pessoal investigador permanente. As teses de Doutoramento duram apenas três anos, o que é bastante curto, especialmente em áreas experimentais. Não há tempo para uma pessoa se interessar por tópicos diferentes.

GF - E quanto ao contraste entre ser um investigador e dirigir um laboratório (LOA)? Consegue envolver-se directamente na investigação, apesar da sua posição actual?

GM - Com certeza, ainda estou muito envolvido na investigação. Exemplos disso são a concepção do laser ELI ou o desenvolvimento de técnicas para atingir altas potências médias, algo de que precisamos para quaisquer aplicações de ultra-alta intensidade. No âmbito do ELI, também estou intimamente envolvido em experiências sobre a estrutura do vácuo. Vejo neste tema um paradigma totalmente diferente onde realizar investigação fundamental. Noutros assuntos mais mundanos, estou envolvido naquilo que chamo “óptica relativista no regime lambda-ao-cubo”. Estou também a impulsionar um novo campo a que chamo “arqueologia de femtossegundos”, no qual impulsos de femtossegundo são usados para revelar pinturas ocultas, um acontecimento comum em arqueologia, ou na técnica de dendrocronologia baseada em femtossegundos. Mas sobretudo estou muito interessado em oftalmologia de femtossegundos, uma actividade que iniciei no Michigan, e se mudou comigo para França faz agora três anos.

GF - Agora temos pela primeira vez a comunidade laser a ter que se unir em torno de um projecto internacional de grande escala, relegando as suas agendas nacionais. Isto é algo que as comunidades de fusão nuclear ou física de partículas já fazem há décadas. Neste sentido, que tem achado desta experiência?

GM - É algo fascinante, e que no caso do ELI está a decorrer muito bem. No início do projecto tínhamos treze países. Agora, até países de fora da UE estão a aderir; falo da Rússia, Japão, China, Taiwan, Coreia do Sul, Israel, bem como os EUA e a África do Sul. Estou também muito feliz por ver a Rede Africana de Lasers (Laser African Network) ansiosa por se unir a nós.

GF - Tendo passado os últimos 30 anos a trabalhar em óptica ultra-rápida, qual a sua visão para os próximos 30 anos?

GM - Na minha opinião, a área mais excitante é a física fundamental com lasers ou o estudo da estrutura do vácuo com lasers. É um paradigma absolutamente diferente do que conhecemos, baseado na aceleração de partículas. E será esta busca pela física fundamental que inspirará o desenvolvimento da tecnologia laser, especialmente no que toca à potência média, que é ainda muito reduzida; tecnologia que, por sua vez, encontrará aplicações de impacto na sociedade, tais como a medicina, o ambiente e os materiais.

Filosofia e história da Ciência em Portugal no século XX

Augusto Fitas
Marcial Rodrigues
Maria de Fátima Nunes
Caleidoscópico
ISBN: 978-989-8129-51-2

O livro “Filosofia e História da Ciência em Portugal no século XX” é, de facto, “uma análise serena e rigorosa” que fornece ao leitor “as ferramentas necessárias a um percurso crítico e esclarecido, através das posições assumidas pelos pensadores e cientistas portugueses do século XX, em face dos grandes debates europeus.” É com estas palavras que Pedro Calafate, do Centro de Filosofia da Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, caracteriza esta publicação no seu prefácio. Da autoria de uma equipa que inclui uma historiadora, um filósofo e um físico, esta reunião de competências, metodologias e saberes confere à visão, que é

Como Arrefecer o Planeta

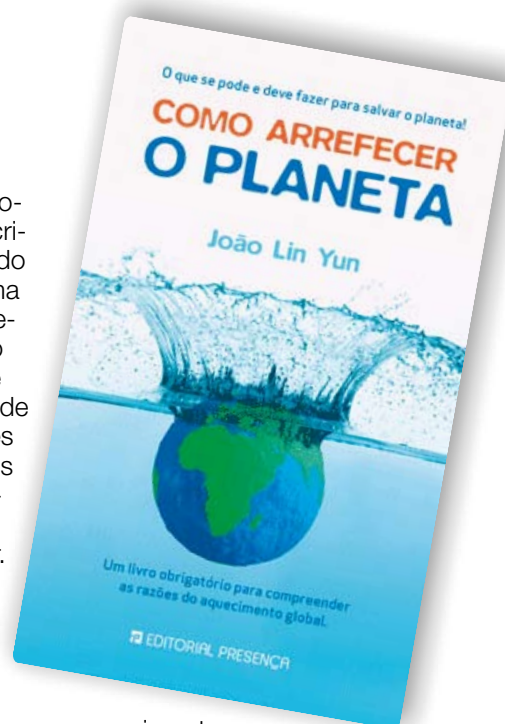
O que se pode e deve fazer
para salvar o planeta!

João Lin Yun
Editorial Presença
ISBN: 978-972-23-3955-1

Não são muito os autores portugueses que têm escrito livros sobre a problemática das alterações climáticas. João Lin Yun é um dos poucos que recentemente decidiu meter mãos à obra e escrever um livro sobre o aquecimento global.

Convém dizer que João Lin Yun não é meteorologista, nem climatologista, na verdade é um astrofísico, mas isso não é obviamente uma condição impeditiva para escrever um livro sobre um dos problemas mais discutidos da actualidade e onde as opiniões sobre as causas e as consequências do aquecimento do planeta divergem muitas vezes. Desfolhando o livro vemos que se trata claramente de um livro de ciência popular sobre o problema das alterações climáticas e sobre o que devemos fazer para evitar o aquecimento global. É um livro que, na senda de outros, aponta soluções para tentar resolver os grandes problemas do aquecimento global. Até aqui tudo bem. O problema do livro é que o autor se situa claramente dentro de uma corrente alarmista, tão típica deste tipo de literatura, ignorando completamente que as alterações climáticas devido ao aumento de gases com efeito de estufa, são controversas e que não há convergência sobre o diagnóstico, nem sobre as medidas a adoptar. Portanto, o livro não vem acrescentar nada de novo ao que já existe em português sobre o tema. O que seria interessante num livro destes era uma aborda-

gem rigorosa e criteriosa do problema do aquecimento global e do tipo de soluções racionais que podemos adoptar. É claro que não podemos ignorar que o aquecimento global existe e que uma boa parte dele pode ter origem humana. Também não podemos ignorar que vamos no futuro viver num mundo mais quente e que devemos combater isso. Mas também sabemos que muitas das declarações sobre as consequências do aquecimento global são frequentemente exageradas e pouco fundamentadas cientificamente. É claro que João Lin Yun está se-



partilhada com o leitor, um carácter abrangente das principais ideias, polémicas e discussões que sustentaram a evolução da ciência e da filosofia da física no nosso país no século passado.

Trata-se de uma segunda edição, revista e modificada, de “A Filosofia da Ciência em Portugal no século XX”, que integrou a colecção “História do Pensamento Filosófico Português” (Vol. 5, tomo 2), publicada em 2006 sob a direcção de Pedro Calafate. Os primeiros cinco capítulos, da autoria de Augusto J. S. Fitas,

riamente preocupado com o futuro do mundo e mostra isso claramente no livro. Agora o que vemos na sua argumentação é principalmente um ecologista alarmado a fazer um apelo geral às armas contra o aquecimento global e não um astrofísico cauteloso, que devia falar com base na informação científica disponível e não com base em teorias alarmistas. Embora seja mais contido que Al Gore, o estilo alarmista não anda muito longe do mais famoso político ecologista do mundo. Mesmo assim, devo confessar que gostei da capa e que resulta bem em termos gráficos, embora em termos de teoria dê uma mensagem errada. É que o aquecimento global é inevitável e não é possível invertê-lo por muito política de redução do carbono que se faça, (aliás, o próprio autor reconhece isso) pois nem sequer sabemos ao certo qual é o peso específico da actividade humana no aquecimento global e do CO₂ em particular no actual ciclo climático. O que podemos fazer é minorar o aquecimento global de forma a não termos impactos negativos repentinos no planeta. Mas mais do que isso é pura ilusão. Portanto, arrefecer a Terra não é uma ideia muito viável ao contrário do que diz o título do livro. Em suma, mais um autor a dizer que a humanidade está condenada se ninguém fizer nada rapidamente. É óbvio que temos que fazer alguma coisa, mas é com calma e sentido de realidade, não é com alarmismo *warm*.

José Matos (<http://radiante.wordpress.com/>)



professor associado com agregação em História das Ideias em Física na Universidade de Évora (EU) e coordenador científico do Centro de Estudos de História e Filosofia da Ciência da UE (CEHFC-UE), descrevem o impacto entre nós das diversas correntes da Filosofia da Ciência, desenvolvidas principalmente no contexto europeu, e os seus principais divulgadores no nosso país. Refere-se, em particular, o surgimento de novas correntes epistemológicas, herdeiras do “positivismo oitocentista”, tais como o neopositivismo da Escola de Viena e o materialismo dialéctico, a sua recepção e influência no pensamento dos investigadores portugueses e a sua divulgação através de algumas revistas ou de índole científico-filosófico ou com secções específicas sobre essa área.

Os dois capítulos seguintes são da autoria de Marcial Rodrigues, professor de Filosofia na Escola Secundária André de Gouveia, em Évora, e investigador do (CEHFC-UE). Analisa aí a filosofia da ciência no pensamento de inspiração católica, até meados da década de setenta, as novas concepções ao nível da filosofia da ciência e os seus reflexos

em Portugal no último quartel do século XX.

O último capítulo é dedicado à história da ciência em Portugal, como área de investigação científica. Maria de Fátima Nunes, professora associada com agregação da UE, especialista em história da ciência e cultura portuguesa e investigadora do referido Centro, dá a conhecer a actividade dos principais investigadores portugueses da história da ciência do século XX e descreve vários congressos internacionais realizados no nosso país.

Este livro é uma obra de inegável relevância no panorama cultural e científico português. O seu valor não se esgota no âmbito da história da ciência ou da filosofia, sendo capaz de despertar a curiosidade de todos os que se interessam pela ciência e/ou pela história de Portugal. Porém, o leitor poderá sentir, no final, a falta de uma conclusão, que integre as ideias até aí expressas, aliando as perspectivas do cientista, do filósofo e do historiador. Espera-se que este livro suscite o aparecimento de outros estudos na que é uma “das áreas menos conhecidas da cultura portuguesa do século XX”, segundo as palavras de Pedro Calafate.

António José F. Leonardo



E se o Higgs não existir?

E se o LHC não descobre nada?

Como em 2009 o LHC poderá mesmo entrar em funcionamento, é altura de pormos estas perguntas: e se o bóson de Higgs não existir? E se o LHC não descobre nada? É claro que muitos cientistas já pensaram profundamente nas respostas. Só assim é que o projecto LHC se pôs em pé. Mas há duas maneiras de abordar esta questão - a política e a científica.

Na política, há que considerar quais seriam as consequências para a investigação científica se o LHC não desse os resultados esperados. Continuará a ser possível convencer os governos a investirem em mais grandes (e dispendiosas) experiências? Ou representaria tal resultado um duro golpe na física (experimental e não só) de partículas?

A abordagem científica consistiria em responder à questão: que alternativas existem à existência do bóson de Higgs? Se se confirmar que o bóson de Higgs não existe será que é toda uma filosofia - da quebra espontânea de simetria - que desaba, pelo menos na física de partículas?

Numa questão: será que se do LHC não resultar nada estamos perante um fracasso? Um físico sabe perfeitamente que o resultado de uma experiência bem feita nunca é um

fracasso, custe o que custar. Agora, como convencer disso o público? Foi esta a questão que a Gazeta de Física colocou a quatro físicos de partículas portugueses: Gustavo Castelo Branco e João Seixas, do Centro de Física Teórica de Partículas do Instituto Superior Técnico, Jorge Dias de Deus, do Centro Multidisciplinar de Astrofísica do Instituto Superior Técnico e Augusto Barroso, do Centro de Física Teórica e Computacional da Universidade de Lisboa.

Filipe Moura

A QUESTÃO CIENTÍFICA E A QUESTÃO POLÍTICA

Na hipótese mais conservadora, que eu perfilho, de se descobrir um bóson de Higgs começará um outro caminho de pesquisa fascinante. Será único? Quais as suas propriedades? Para este programa o LHC não vai ser suficiente.

Para além de procurar o bóson de Higgs o LHC tem outra agenda. É legítimo interrogarmo-nos sobre a razão pela qual a massa do Higgs é relativamente pequena (da ordem de 10^2 GeV) quando comparada com a escala natural de massa, a massa de Planck que é de 10^{10} GeV. Pode-se argumentar que esta hierarquia de escalas de massa necessita de um mecanismo de estabilização. Este mecanismo aparece se o modelo padrão for generalizado para uma versão supersimétrica. Estas teorias, designadas usualmente por SUSY prevêem uma enorme plêiade de novas partículas. A descoberta de algumas delas seria um grande triunfo para o LHC, tanto mais que entre as novas partículas previstas pela SUSY existem alguns candidatos para explicar a matéria escura do universo. Por outro lado, se o LHC não detectar nenhum vestígio da supersimetria dificilmente esta teoria lhe sobreviverá.

Já que falei de matéria escura talvez seja interessante referir que também poderá acontecer que o LHC possa abrir uma nova janela para examinar a teoria da gravitação a distâncias a que nunca anteriormente foi testada.

Não tenho portanto qualquer dúvida de que os próximos dez anos vão ser muito importantes para o avanço do nosso conhecimento. É impossível o LHC ser um falhanço. A hipótese mais conservadora será descobrir apenas um Higgs e nada mais! Vejamos agora o aspecto político da questão ainda que a minha resposta à questão científica já tenha condicionado esta resposta. A ciência actual ou, pelo menos alguma ciência actual exige meios experimentais tão dispendiosos que se pode tornar difícil convencer os contribuintes a fazerem esse investimento. Isto reforça a necessidade de se explicarem bem os objectivos e as expectativas das várias experiências. Desta forma pode-se alargar a toda a comunidade a participação na aventura do conhecimento. Contudo, penso que também é imprescindível moderar algum triunfalismo sobre a veracidade das teorias e das suas previsões. É sempre preciso

sublinhar que o conhecimento nunca é completo e que é da própria essência da ciência que a cada nova resposta correspondam novas perguntas. Por outro lado, nunca será demais sublinhar outro aspecto do investimento nestas experiências. Pela sua própria natureza implicam a utilização e o desenvolvimento de tecnologias que em cada momento, estão no limite do possível. Deste modo, o dinheiro investido funciona como um grande estímulo ao desenvolvimento de novas tecnologias. Para não falar do CERN e de física de partículas recordo o enorme impacto industrial e até educacional do programa espacial Apollo.

Depois do LHC provar a existência do bóson de Higgs não vai ter possibilidade de esclarecer todas as questões relacionadas com a sua existência. Sendo uma máquina em que as partículas que colidem são prótons o sinal daquilo que se pretende medir será escondido por uma enorme quantidade de outros acontecimentos irrelevantes para o problema em estudo. Então o esclarecimento completo das propriedades dos bósons de Higgs, eventualmente mais do que um, precisa de um novo acelerador de electrões e positrões. Será o **International Linear Collider**.

Augusto Barroso
CFTC, UL

LHC: UMA ERA DE OURO DA FÍSICA DE PARTÍCULAS

Para se compreender a importância da partícula de Higgs, como componente fundamental do Modelo Padrão (MP) das interacções electrofracas e fortes, há que analisar a génese das teorias de gauge de unificação, de que o MP parece ser o exemplo escolhido pela Natureza. Quando as interacções fracas foram descobertas, através do decaimento do neutrão, do múon e de muitas outras partículas, havia que começar por compreender a sua universalidade, o que foi feito de modo brilhante, por Nicola Cabibbo. Entretanto, desde muito cedo surgiu a ideia de que, tal como o electromagnetismo, as interacções fracas seriam mediadas por partículas vectoriais. Na altura em que foram propostas, no início da década de 60, os modelos com “intermediate vector bosons (IVB)” tinham termos de massa para estes bosões, incluídos “à mão” no Lagrangeano. O problema destas teorias com IVB é que não eram renormalizáveis. O ponto crucial é que os termos de massa para os IVB, quebram explicitamente a simetria de gauge. Um desenvolvimento fundamental foi a descoberta do mecanismo de Brout, Englert e Higgs (BEH), que explora a quebra espontânea da simetria de gauge. Neste cenário,

o Lagrangeano é invariante de gauge mas o vácuo não respeita a simetria de gauge, conduzindo à sua quebra espontânea. Quando implementado no contexto do MP com um único dubleto de Higgs o mecanismo BEH conduz ao aparecimento de um par de IVB carregados, designados por W_{\pm} e um neutro, designado por Z. Como “memória” de que a simetria de gauge foi quebrada espontaneamente, temos ainda um escalar físico, neutro, normalmente designado bosão de Higgs. O grande passo seguinte foi conseguido por 't Hooft e Veltman que provaram no princípio da década de 70 que teorias de gauge com quebra espontânea de simetria são renormalizáveis.

Entre os grandes sucessos do MP contam-se a previsão e descoberta dos mesões W_{\pm} e Z e a descoberta das correntes neutras, com uma estrutura de acordo com as previsões do MP. Outra previsão notável do MP foi a existência do quark “charm”, para eliminar de modo natural, a nível árvore, as correntes neutras que violam o sabor. O charm “tinha que existir” e a sua massa tinha que ser à volta de 1-2 GeV. Apesar do seu grande sucesso, o MP não é certamente a teoria final, uma vez que deixa em aberto muitas questões fundamentais, tais como a questão do sabor, com o aparecimento de três gerações de quarks e leptões, com um espectro de massas e um padrão de misturas que não são determinados pelo MP. O bosão de Higgs está intimamente ligado a todos estes problemas, uma vez que quarks e leptões adquirem massa através das interações de Yukawa que envolvem Higgs e fermiões.

Em relação à massa do Higgs o MP não faz uma previsão precisa para o seu valor. No entanto, os testes de precisão apontam claramente para um Higgs relativamente leve. Em particular, se tomarmos o valor 200GeV para a massa do Higgs, todos os testes de precisão do MP são satisfeitos. Se a natureza nos surpreender e em particular se o LHC não descobrir a partícula de Higgs, então teremos de rever as nossas ideias sobre a quebra da simetria de gauge. Mas isso será em si, uma “descoberta” fascinante e um grande desafio, sobretudo se os dados experimentais apontarem para algumas das várias alternativas que têm sido propostas para a quebra espontânea de simetria, ou para qualquer outra solução ainda desconhecida.

O que é certo é que o LHC irá contribuir para esclarecer o mecanismo de quebra de simetria de gauge e de geração de massas para as partículas elementares que se conhecem. Como realçou recentemente Frank Wilczek, com a entrada em funcionamento do LHC irá iniciar-se uma “New Golden Age” da Física de Partículas. No âmbito do nosso País, é essencial que os nossos jovens aproveitem esta oportunidade, participando de modo entusiástico nesta grande aventura, tanto mais que Portugal é membro do CERN e há grupos de físicos teóricos e experimentais portu-

gueses a trabalhar na Física do LHC.

Gustavo Castelo Branco

CFTP, IST

É UM ABSURDO PENSAR QUE O LHC NÃO VAI DESCOBRIR NADA!

O sucesso da física de partículas nos últimos 50 anos pode ficar abalado. Isto porque se para interações mediadas por partículas sem massa - como o fóton - tudo está claro, para interações em que o mediador tem massa, caso da teoria da interação fraca, com os bosões W e Z, tendo massas da ordem de 100 vezes a massa do protão, talvez percamos uma explicação simples, que é a da quebra de simetria e da existência do bosão de Higgs. (Quererá também dizer que os prémios Nobel atribuídos a Weinberg, Glashow e Salam o foram erradamente? ...)

Praticamente todo o desenvolvimento teórico assentou na ideia de quebra de simetria (introduzida entre outros pelo Nobel 2008, Nambu) que diz que o Z e o W podem ter massa desde que uma outra partícula - o bosão introduzido pelo senhor Higgs - fique com a responsabilidade pela existência dessa massa. Mas se o Higgs não aparece, não é detectado, como é que pode ficar responsável?

É um absurdo pensar que o LHC não vai descobrir nada! O acelerador está a explorar regiões, em energia e momento, que não foram estudadas antes e portanto há nova física a explorar. A questão está em saber se o que se vai descobrir é do estilo “ciência normal”, isto é, que se obtém por extrapolação simples de ideias e modelos que já existem, ou, pelo contrário, se se abrem espaços que possam conduzir a rejeições paradigmáticas.

Neste contexto, as experiências a fazer no LHC, e em particular a descoberta da partícula Higgs que tem a responsabilidade pela existência de massa, embora tenha por de trás muitos modelos “normais”, fixará um paradigma. Novo ou velho? Ainda não se pode dizer. É assim a Ciência: Vai-se fazendo e as surpresas podem acontecer.

Sabemos hoje, de experiência própria, que o maior acelerador do mundo não é o LHC. Será, sem dúvida, o maior de fabrico humano. mas nós recebemos todos os dias informação (experiência Auger, na Argentina) sobre reacções de partículas ocorrendo a energias cerca de 100 vezes maiores do que a energia máxima conseguida no LHC. Há no Univer-

so potentes aceleradores, ligados talvez aos núcleos densos das galáxias, que têm muita física para nos ensinar. Que nos podem ajudar a perceber as partículas e o Universo.

Jorge Dias de Deus

CENTRA, IST

QUASE SERIA MAIS INTERESSANTE SE O HIGGS NÃO EXISTISSE

A melhor forma de começar a discussão do papel dos grandes projectos de Física na sociedade será porventura, à boa maneira de Einstein, realizar uma experiência conceptual. A experiência é simples: vamos idealmente deslocar-nos a um local remoto de Portugal e perguntar ao hipotético senhor Manuel, pastor de ovelhas de sua profissão (ou, para o efeito, à pessoa mais afastada da ciência fundamental, que consiga encontrar), se estaria disposto a utilizar o dinheiro dos seus impostos na construção de uma máquina gigantesca para descobrir os segredos mais profundos e bem guardados do Universo. Em particular seria importante para descobrir a partícula de Higgs e confirmar a nossa visão global do mundo. Duas coisas poderiam então acontecer:

- O interlocutor pensa que o leitor não estará no seu juízo perfeito e tentará afastar-se dando uma resposta evasiva;
- O interlocutor ir-se-á insurgir contra esses senhores da capital que usam o dinheiro dos contribuintes para investir em projectos inúteis e que provavelmente só servirão para enriquecer mais alguns políticos ou grandes empresários de forma ilícita, mas totalmente legal.

Em conclusão, esses projectos nunca poderiam ser feitos com o dinheiro dos contribuintes portugueses. Mas são-no. Porquê?

Há duas respostas: a científica e a política. Começamos talvez pela primeira que, de certa forma, é a mais simples. Na verdade, pensar que a construção de uma máquina como o LHC está baseada unicamente na descoberta do Higgs é, obviamente, um disparate. Ter encontrado um Modelo Standard que contém dezenas de parâmetros a ser ajustados para descrever o nosso Universo, embora represente um imenso sucesso em si perante a complexidade do problema em causa, está claramente longe de ser um resultado final convincente. A incerteza sobre a realidade do Higgs é apenas uma das muitas incertezas ainda presentes no modelo e, de certa forma, quase seria mais interessante e informativo

se o essa partícula não existisse. Problemas como a origem das massas para as partículas elementares do modelo, a razão de ser dos acoplamentos conhecidos, como funciona em detalhe a força forte, qual a verdadeira natureza da matéria escura e da energia escura, só para nomear alguns, representam perguntas sem resposta no estado actual dos nossos conhecimentos. Todas elas de importância igual ou superior à existência ou não do Higgs.

Sabemos agora que conhecemos muito pouco sobre a constituição do Universo. Falta-nos informação que este novo acelerador nos poderá fornecer. O LHC é uma janela para um novo mundo onde muito provavelmente algumas, ou todas, destas perguntas encontrarão uma resposta, resposta que suscitará inevitavelmente novas perguntas que nos aproximarão um pouco mais das respostas finais. A Ciência é na verdade um edifício em permanente construção em que cada um de nós traz um pedacinho na medida das suas capacidades: os cientistas e engenheiros o seu conhecimento, incompleto, da matéria e das suas interações, as empresas e os políticos a sua capacidade de construir coisas e gerir equipas e o público em geral o seu apoio, financeiro ou simplesmente de encorajamento.

Chegará isto para garantir a existência de qualquer grande projecto em ciência fundamental?

A resposta é, muito provavelmente, não. Isso leva-nos à vertente política da questão. A Ciência tem, do ponto de vista social, efeitos colaterais que são importantes para os cidadãos. Projectos como o LHC são desafios imensos do ponto de vista tecnológico, que têm de ser resolvidos criando novas soluções para além do que é conhecido e possível de fazer no estado actual. Isso significa, nomeadamente, desenvolver novos materiais, nova electrónica, novas tecnologias de baixas temperaturas, novas tecnologias informáticas e de redes. Todas estas técnicas são desenvolvidas por pessoas, frequentemente jovens, que aprendem e estendem a tecnologia actualmente existente. No processo estes cientistas e engenheiros vão adquirindo um know-how inestimável que é difundido para dentro do grande número de empresas de todos os países que participam no projecto, ou porque os protótipos são desenvolvidos em projectos de colaboração dessas empresas com o CERN, ou porque esses mesmos jovens são contratados por essas empresas. O simples efeito de formação técnica e científica no tecido empresarial de cada um dos países membros do CERN chegaria provavelmente para justificar o interesse e o investimento num projecto como o LHC. Esse facto é reconhecido em Portugal através de programas como o da Agência de Inovação, considerado, aliás, internacionalmente como um modelo nesta área.

Mas há mais. O CERN é um imenso centro de transferência de tecnologia de que conhecemos alguns grandes sucessos como a Web ou, actualmente, a computação Grid. Esses desenvolvimentos afectam – e continuarão a afectar – o nosso modo de vida social. Para dar um exemplo, como poderíamos imaginar o nosso modelo de globalização sem

a Web? Pode parecer à partida estranho que tenha sido um laboratório de Física de Partículas a dar-nos tais ferramentas, mas quem o tiver visitado alguma vez perceberá de imediato a razão de isso ter acontecido. O CERN, como todos os grandes centros de investigação pura, são catalizadores de novas ideias, de sede de conhecimento e de inovação. E isso, sim, justifica plenamente o interesse dos cidadãos e, globalmente, dos países que contribuem para o seu financiamento, porque lhes dá as armas para poderem ser fortes e inovadores no futuro.

Sabendo isto, o hipotético senhor Manuel, pastor de ovelhas de sua profissão, estará seguramente de acordo em investir em ciência fundamental para ir à procura do Higgs. Ou de qualquer outro segredo, ainda não revelado, do Universo.

João Seixas
CFTP, IST



JÁ REPAROU?



<http://clix.expresso.pt/gen.pl?sid=ex.sections/24956>

Expresso



Física Nuclear?

**70 anos
depois da
descoberta
da fissão,
que desafios
para a**

**Não perca no
próximo número.**