

Iluminar as interacções fortes

**Terapia do cancro com prótons:
passado, presente e futuro**

Colidindo Buracos Negros

Índice

- artigo geral
2 **Iluminar as Interações fortes**
O Programa Científico do JLab
Anthony W. Thomas
- artigo geral
7 **Colidindo** buracos negros
Vitor Cardoso e Carlos Herdeiro
- física sem fronteiras
12 **Terapia do cancro com prótons:**
passado, presente e futuro
João Seco
- física sem fronteiras
16 **A Física dos** mercados financeiros
Marta Daniela Santos
- física e sociedade
19 **O outro Género** (ou Génio?) na ciência
Teresa Peña
- inovação
22 **Reactores Nucleares de Cisão:**
presente e futuro
J.G. Marques e N.P. Barradas
- inovação
27 **O ITER no** caminho para a energia de Fusão Nuclear
Carlos Varandas
- crónica: física divertida
30 **Quem inventou** o Zero?
Jim Al-Khalili
- crónica: física divertida
31 **A LUA entre a** ciência e a literatura
Carlos Fiolhais
- 33 **Notícias**
Sofia Andriga, João Fernandes, Pedro Russo, Daniel Galaviz Redondo
- gazeta ao laboratório
41 **Projecto Radiação** Ambiente
Luís Peralta e Conceição Abreu
- vamos experimentar
42 **Mão direita e mão esquerda:** qual é a diferença?
Constança Providência
- sala de professores
45 **Um dispositivo para** demonstrar a levitação magnética
Carlos Saraiva
- por dentro e por fora
49 **De F=ma até MBA:**
as carreiras de dois físicos tornados gestores
Gonçalo Figueira
- onda e corpúsculo
53 **Teoria de** Cordas: Ata ou desata?
Filipe Moura

Publicação Trimestral Subsidiada



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



Uma senhora franzina, no aprumo de um tailleur-com-camisa-branca e dos cabelos prateados de 60 anos de idade, deixa o hotel Adlon de Berlim junto às Portas de Brandenburgo, com duas malas de fim-de-semana, dez marcos e um anel antigo com um diamante na bolsa. Apanha o comboio para Groningen. Na fronteira entre a Alemanha e a Holanda, mostra o passaporte à polícia alemã. Outro polícia, de farda holandesa, toca nas costas do colega e olha-o significativamente. Fingem ambos uma distração casual e não verificam o passaporte inválido, de um país que já não existe. A senhora segue viagem e horas depois chega a Berlim um telegrama lacónico “o bebé já chegou”.

Não, a viajante não é espia nem traficante de diamantes, nem foi uma rede de espionagem ou de máfia que planeou a fuga. A viajante é Lise Meitner, física. Austríaca e judia. A cena ocorreu em Julho de 1938. Hoje, e ontem, todos os cientistas conhecem outros cientistas em muitos países, que conhecem por sua vez outros, etc....e foi uma rede de cientistas amigos que preparou e operacionalizou a fuga.

No laboratório que antes Lise Meitner tinha criado com o químico Otto Hahn no Kaiser-Wilhelm Institute em Berlim-Dahlem tentaram durante anos produzir elementos transurânicos, mais pesados que o urânio, bombardeando este com neutrões. Meitner liderava na física, nos conceitos e construção de modelos físicos. Na separação e identificação por métodos químicos e, claro, no poder institucional, ganhava Hahn. Em grandes viragens de conhecimento, ciências antes separadas espriam-se e misturam-se. Na exploração do núcleo atómico, aconteceu com a física e a química. Na descoberta do ADN, com a química, a física e a biologia...

Em Dezembro de 1938, com Meitner já longe de Berlim, Hahn obteve um resultado inesperado: em vez de núcleos mais pesados que o urânio, obteve bário, bem mais leve. Apressou-se a enviar para

publicação o achado, e a escrever a Lise pedindo que lho explicasse. Nas provas editoriais incluiu a posteriori uma nota sobre a soma dos números de massa dos núcleos. No frio do Natal sueco, a salvo do nazismo, Meitner explicou o resultado que Hahn não percebia. Inspirada nos flocos de neve a desfazer-se, diz-nos o sobrinho Otto Frisch, físico” lembrou-se de como se calculam as massas dos núcleos (...) e desta forma chegou ao resultado que os núcleos formados pela divisão de um núcleo de urânio seriam mais leves do que o núcleo de urânio inicial em cerca de um quinto da massa do protão.” Batia certo. E se a massa desaparece... surge energia. A fissão (ou cisão) nuclear mudaria o mundo. O artigo de Otto Hahn foi publicado em Janeiro, na *Naturwissenschaften* Vol 27, 1, 11-15 (1939). Fez este ano setenta anos. Meitner, pequena e leve, a quem os irmãos chamavam “cotãozinho”, deixou atrás de si uma poderosa fonte de energia.

Neste número homenageamos Lise Meitner². Por isso trazemos notícias sobre novas fronteiras da física nuclear e das suas aplicações, na medicina e na produção de energia. No artigo “Iluminar as interações fortes” publicamos resultados inéditos que o autor Anthony W. Thomas, *Chief Scientist e Associate Director* do Jlab nos Estados Unidos, facultou à Gazeta em primeira mão. Haverá ou não um buraco de ausência de carga no centro do protão? E falamos com jovens físicas que foram tocadas, como Meitner, pela magia da Ciência.

O artigo sobre Física Biomédica foi escrito por João Seco, jovem cientista, português, da Universidade de Harvard. Mas neste mundo globalizado ainda se vivem tempos de fissão. Agora, discutem-se na ONU. É importante que os jovens cientistas não tenham de atravessar clandestinamente fronteiras. Quem sabe!?

Teresa Peña

¹“Wuzerl”, em dialecto austríaco.

²Lise Meitner descobriu simultaneamente com Pierre Auger que os átomos podem ejectar electrões, quando outros electrões descem de nível de energia. Falamos hoje de efeito de Auger, e não de Meitner. Otto Hahn teve o prémio Nobel, e Lise Meitner não. Coincidências ou influências?

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)
Carlos Herdeiro (Editor)
Filipe Moura (Editor)
Tânia Rocha (Assistente Editorial)
Adelino Paiva (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

Anthony W. Thomas, Carlos Fraga
Carlos Saraiva, Carlos Varandas
Conceição Abreu, Daniel Galaviz Redondo
Isabel Gordo, Ivo Vieira, João Fernandes
João Seco, José Marques, Luís Peralta
Marta Daniela Santos, Nuno Barradas
Sofia Andriga, Vítor Cardoso

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.



Iluminar as interacções fortes

O Programa Científico do JLab

ANTHONY W. THOMAS
THOMAS JEFFERSON NATIONAL ACCELERATOR FACILITY,^a
E COLLEGE OF WILLIAM AND MARY^b,
AS ORIGENS E O FUTURO DO JLAB

A interacção electrofraca tem vantagens únicas para sondar a estrutura e a dinâmica da matéria que se forma por acção da força nuclear forte, a força entre os quarks que constituem os núcleos atómicos.

Historicamente, as experiências realizadas em ALS, HERA e SLAC tinham fornecido informação variada e rica sobre a estrutura do núcleo atómico, bem como dos seus constituintes, os nucleões. Com as suas características extraordinárias em termos de intensidade, polarização e rendimento do feixe, e os seus três grandes sectores¹ experimentais, capazes de operar a diferentes energias, até 6 GeV, o Jefferson Lab (ou JLab como é vulgarmente conhecido) foi o herdeiro natural dessas grandes instalações experimentais que o antecederam. Durante a última década, o JLab tem permitido realizar experiências importantes que



Vista aérea do JLab

awthomas@jlab.org

^a Suite 1, 12000 Jefferson Ave., Newport News, VA 23606, EUA

^b Williamsburg, VA 23187, EUA

¹ Áreas experimentais para onde o feixe é distribuído, e designadas por Experimental Halls, no original. Neste momento os Halls do Jlab são três: Halls A, B e C. Estes três sectores encontram-se por baixo das três manchas circulares de relva, visíveis na parte inferior da fotografia com a vista aérea das instalações do Jlab. (N.E.)

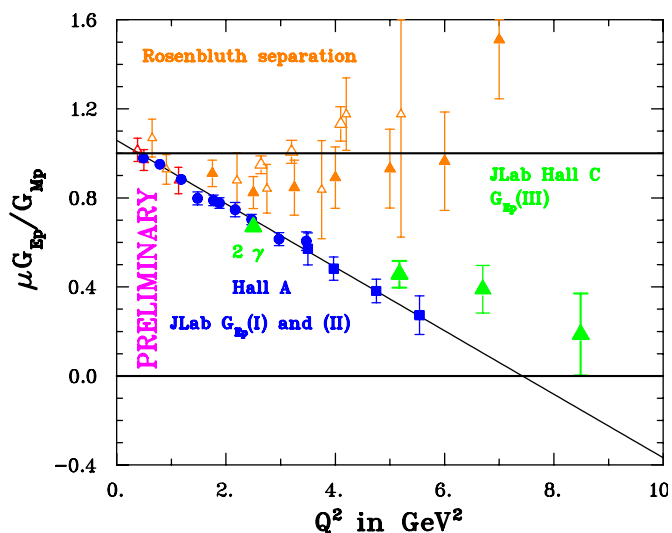


Figura 1 - Resultados recentes e preliminares do JLab (a verde) [2], em conjunto com outros resultados publicados antes [1] usando a técnica de recuo de polarização (a azul) e os resultados de SLAC que foram obtidos nos anos 80 através da separação dos factores de forma de Rosenbluth.

Os resultados preliminares apresentados surgiram mesmo durante a produção deste número, sendo assim, por especial cortesia do autor e da colaboração experimental, divulgados em primeira mão pela Gazeta de Física.

fizeram avançar significativamente a nossa compreensão da força nuclear forte. Muitas destas experiências exploraram a qualidade ímpar do feixe desenvolvido no JLab, e fizeram avançar consideravelmente a precisão com que testámos o modelo-padrão das interações electrofracas.

Nos próximos seis anos, o DOE nos Estados Unidos gastará mais de 300 milhões de dólares para duplicar a energia do acelerador do JLab, de 6 para 12 GeV, e acrescentar uma nova zona de utilização do feixe, através de um quarto sector experimental. Neste artigo descrevemos sucintamente os pontos mais relevantes do programa científico levado a cabo durante a última década no JLab. No final destacaremos por sua vez os aspectos principais do programa de liderança internacional que decorrerá do *upgrade* previsto e já aprovado para o acelerador do JLab.

UM “BURACO” DE CARGA MESMO NO CENTRO DO PROTÃO

Os factores de forma eléctrico e magnético do nucleão são as funções que descrevem a distribuição da carga e da corrente eléctrica

desse sistema, produto directo da interacção forte. Como é natural, as distribuições da carga e do magnetismo dos nucleões medem-se obrigando os mesmos a interagir com campos electromagnéticos. No quadro da teoria de campo das interacções electromagnéticas, a medição de carga e magnetismo faz-se pois analisando o recuo dos nucleões (num alvo) devido à sua interacção com fótons emitidos por exemplo por electrões acelerados (num feixe).

Para o protão, os resultados iniciais do SLAC (Stanford Linear Accelerator Center) sugeriram que as formas das distribuições da carga e do magnetismo eram aproximadamente iguais, numa grande região de energia e momento transferido no recuo dos nucleões. Contudo, a técnica experimental utilizada então para separar os dois factores de forma levanta, sabe-se agora, alguns problemas para momentos transferidos acima de 1 GeV².

Em particular, os efeitos cinemáticos (grande momento transferido) na intensificação da contribuição magnética para a secção eficaz² implicam que, relativamente a essa contribuição, a do termo eléctrico é muito reduzida. Foi este efeito que induziu erros sistemáticos na determinação experimental realizada originalmente no SLAC nos anos oitenta, que na altura foram completamente ignorados.

Com as suas características notáveis, o feixe de electrões do JLab permitiu concretizar uma nova técnica de separação dos dois factores de forma, agora através não da secção eficaz total, mas da medição da razão entre as polarizações transversal e longitudinal do protão³ emergentes da colisão deste com um feixe de electrões polarizado longitudinalmente [1], que, na prática, dá directamente a razão G_E/G_M . O resultado desta nova técnica está ilustrado na Fig. 1, onde se pode ver que o factor de forma G_E do protão é dramaticamente diferente do magnético G_M , decaindo rapidamente para zero, e mesmo muito provavelmente (dos dados experimentais preliminares). O impacto deste resultado extraordinário e nada esperado, é que a densidade de carga eléctrica no centro do protão é cerca de 30% mais pequena do que se pensava desde há 30 anos! A diferença relativamente ao antigo resultado do SLAC, sabe-se agora, reside no efeito de termos de troca de dois fótons, que afectam muito mais decisivamente as medições Rosenbluth originalmente efectuadas, do que as novas medições do JLab sobre o recuo dos protões com feixes polarizados [3].

A “ESTRANHEZA” DO PROTÃO

Assim como nas reacções químicas usuais os átomos participam apenas através dos seus electrões de valência, externos, também no protão em muitas reacções nucleares apenas são actores os quarks u e d⁴, os mais leves da natureza e que dominam na matéria em condições normais. No entanto, no interior bem profundo do protão a teoria da relatividade permite a criação de pares virtuais de quarks s e \bar{s} barra (par partícula-anti-partícula) mais pesados, e com uma propriedade quântica especial, a que chamamos estranheza. Determinar as contribuições destes pares virtuais nas interacções dos protões com campos, e entender até que ponto as podemos compreender através da teoria fundamental das interacções fortes, a Cromodinâmica Quântica⁵, é um desafio, com uma importância

² Secção eficaz é um conceito que traduz quantitativamente a probabilidade de ocorrência de uma reacção. Experimentalmente, a secção eficaz é determinada pelo número de partículas emergentes de uma reacção, normalizado ao fluxo do feixe incidente, isto é, ou número de partículas incidentes por unidade de tempo e de área. (N. E.)

³ As duas polarizações correspondem ao spin do protão estar perpendicular ou paralelo a uma dada direcção (N. E.).

⁴ Quarks u e d correspondem a uma propriedade, que se chama sabor, diferente. Outros sabores correspondem aos quarks s, c, t, b. Há pois seis sabores, correspondente a seis famílias diferentes de quarks. (N. E.)

⁵ QCD, *Quantum Chromodynamics*, no original (N. E.)

NOVOS PIONEIROS

Foi em circunstâncias bem simbólicas do sonho americano que, no princípio da última década do século XX, o Thomas Jefferson Laboratory, mais conhecido por JLab, entrou em funcionamento. Apesar da proposta do MIT para construir o laboratório em Massachusetts, a comissão avaliadora do Departamento de Energia (DOE, Department of Energy) nos Estados Unidos tomou uma decisão inesperada: optou antes pela ousadia da proposta de um consórcio de universidades do sudeste do país, que pretendia romper com a tecnologia de aceleradores tradicional nos anos oitenta, e propunha tecnologia baseada em supercondutores. O laboratório acabou por nascer, não em Massachusetts, mas perto da região histórica do *James River*, na Virgínia – mesmo onde tinham desembarcado os primeiros colonos ingleses.

Coincidência ou não, a missão do JLab trazia o sonho, a oportunidade, a dificuldade e os riscos próprios do pioneirismo. Tratava-se de produzir um novo tipo de sonda electromagnética, para iluminar eficazmente o interior dos núcleos atómicos.

A missão era, de certa forma, viajar até ao mundo das interações fortes que dão forma ao núcleo atómico e perceber a intensidade da força gigantesca que liga os quarks. O protagonista central do JLab (e dos núcleos atómicos) seria o próton. Sendo o núcleo do átomo de hidrogénio, é contido cerca de cem mil vezes mais pequeno que esse átomo. O objectivo era observar o seu interior, sem a confusão de um *debris* imenso de outras partículas que seriam produzidas nesse processo.

O que tornou o JLab tão extraordinário é ter sido baseado num acelerador de electrões, conhecido por *Continuous Electron Beam Accelerator Facility* (CEBAF). Este acelerador resultou do desenvolvimento pioneiro de um laser de electrões livres, de comprimento de onda ajustável – através de cavidades electromagnéticas supercondutoras e ressonantes, que arrastam os electrões tal como uma onda de surf transporta um surfista. Só assim os feixes adquirem uma luminosidade suficientemente intensa para permitir estudar acontecimentos provocados pela interacção electrofraca, que por ser muito fraca produz reacções a taxas muito baixas.

No que diz respeito à física, as instalações do JLab são únicas no mundo para explorar as interações electrofracas, e desvendar com grande precisão as propriedades da matéria à escala de energias de milhares de milhões de electrão-Volt (GeV). Na Europa teremos de esperar pela expansão do GSI, em Darmstad (Alemanha), planeada no projecto FAIR, para que se disponha de uma ferramenta complementar promissora como o CEBAF – mas desta vez à base de feixes de anti-prótons, e para analisar os gluões (a cola dos quarks) em muito detalhe.

Ao fim de uma década o JLab teve sucesso. Permitted ver a estrutura do próton, com detalhes bem surpreendentes, como o do vazio de carga eléctrica no seu centro (o que não era expectável), e mediu pela primeira vez correlações de alcance mais curto que o raio do próton. As correlações de curto alcance dentro dos núcleos atómicos nunca tinham sido medidas antes, e foram publicadas na revista *Science* em 2008 [1]. O JLab, segundo o plano quinquenal ou *Long-Range Plan* de 2007 [2] tornou-se assim uma instituição-bandeira dos EU, preparando-se para o seu terceiro *upgrade* de energia, e o grande projecto Gluex (em português será o “Colax”, a grande cola subjacente à matéria).

A FÍSICA E A ECONOMIA

O JLab distinguiu-se desde a primeira hora pelo carácter especial das suas instalações. Mas, como acontece tantas vezes quando se aglomeram cientistas em torno de um problema, as repercursões do JLab não se limitaram à física e ao conhecimento do núcleo atómico, o seu objectivo principal. As aplicações e *spin-offs* industriais



e militares multiplicaram-se, tendo-se gerado um centro tecnológico associado. Em uma década, o JLab revitalizou a economia de uma região adormecida à sombra do passado. Quando o laboratório foi criado, a zona reduzia-se ao museu-vivo propagandeado em guias turísticos, Williamsburg, onde aos domingos os locais atraíam os turistas vestindo-se como os primeiros *settlers*, e vendiam cidra em imitações pitorescas de mercados do século XVIII. Existia já com sólidas raízes um *college* histórico, bem cotado nos *rankings*, o *College of William and Mary*, com grande reputação nas artes dramáticas (onde ser formado Glenn Close por exemplo) e alguma na Ciência. Mas a multiplicação do emprego, estradas, centros urbanos e hotéis, livrarias e cinemas, a que assisti em cada visita ao JLab, de ano para ano, deu-se a uma aceleração espantosa. A presença de um laboratório de física transbordou na fluidez da riqueza e crescimento económico. Nunca tive prova mais vívida de que a ciência fundamental não é (nunca foi!) um clube marginal de iniciados. Nem um sorvedouro de dinheiros públicos a fundo perdido.

Neste artigo, o *Chief Scientist* e líder do grupo teórico do JLab responde ao convite da Gazeta de Física para relatar algumas das maiores descobertas realizadas neste laboratório durante apenas uma década. O artigo abre ainda uma perspectiva sobre as novas oportunidades oferecidas pelo *upgrade* do acelerador.

[1] R. Subedi et al., *Science* 320, 1476 (2008).

[2] “The Frontiers of Nuclear Science, A long range plan”, Nuclear Science Advisory Committee (NSAC), Department of Energy, December 2007. <http://www.sc.doe.gov/np/nsac/nsac.html>

Teresa Peña

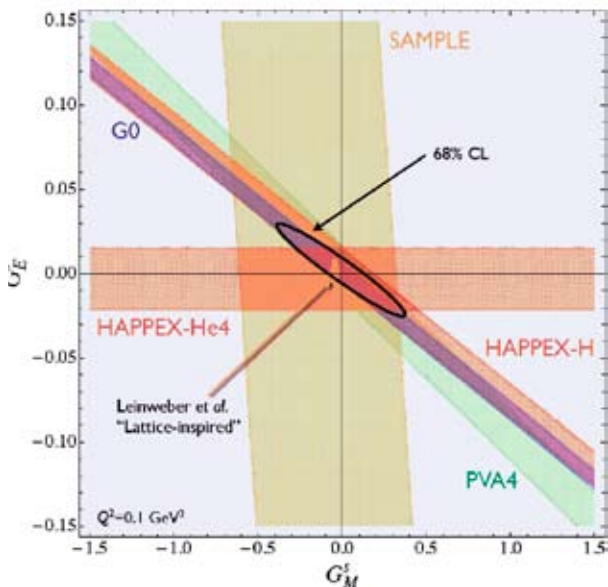


Figura 2 - Constangimento (68% CL) à contribuição do quark s para os factores de forma eléctrico e magnético do protão (a $Q^2 = 0.1 \text{ GeV}^2$) obtida por análise global dos dados de PVES [5,6] e comparação com o estado-da-arte dos cálculos de QCD na rede (elipse) [7].

análoga ao efeito de desvio de Lamb do átomo de hidrogénio que deu o Prémio Nobel ao físico que o descobriu, e que corresponde ao efeito da produção de pares electrão-positrão no átomo de hidrogénio.

Experimentalmente, a determinação da contribuição dos quarks estranhos para os factores de forma eléctricos e magnéticos assenta na simetria de carga para relacionar os elementos de matriz do quark u (d) no protão, sistema uud , com os elementos de matriz do quark d (u) no neutrão, sistema ddu . A determinação experimental usa ainda um terceiro constangimento, medindo a violação de paridade na dispersão de electrões (PVES, do inglês *Parity Violation Electron Scattering*) que envolve uma combinação linear diferente das correntes ligadas aos quarks u , d e s . Os dados experimentais sobre PVES disponíveis hoje são dominados pelos resultados das experiências G0 e Hapex do Jlab [4], com algumas contribuições importantes de MIT-Bates e Mainz.

A Fig. 2 mostra os resultados da análise completa de todos os dados experimentais existentes para as componentes da “estranheza” (dos pares $s\bar{s}$) para os factores de forma eléctrico e magnético do protão para um momento transferido de $Q^2 = 0.1 \text{ GeV}^2$ [5,6] (seguindo a convenção usual, a carga do quark s foi removida). Ao contrário de expectativas anteriores, a contribuição da estranheza é bastante pequena, gerando menos de 5% do momento magnético e do raio da carga eléctrica do protão. Este resultado experimental está em excelente acordo com as determinações mais recentes, obtidas a partir de simulações de QCD numa rede discreta do espaço-tempo [7], indicada pela elipse na Fig. 2. Esta determinação teórica é um exemplo único na física das interações fortes, pois é uma ordem de grandeza mais precisa que o estado-da-arte da medição correspondente, para o qual, de resto infelizmente, não existe no momento presente

um método alternativo capaz de conduzir a resultados mais precisos.

O PAPEL DOS GLUÕES NO MISTÉRIO DO SPIN DO PROTÃO

Enquanto o grande foco da determinação do spin dos núcleos que é devido aos gluões dentro do protão, Δ_G , tem sido sobre medições directas de hadrões com grande momento transversal p_T (experiências de Hermes e COM-PASS), e piões π^0 ou produção de jactos produzidos em colisões $p-p$, entre dois protões polarizados (experiências levadas a cabo no RHIC) as experiências no JLab duplicaram os dados experimentais disponíveis sobre a função de estrutura de polarização do protão, designada na literatura por g_1^p [8]. Uma análise recente [9] destes dados conduziu a sérios constangimentos sobre Δ_G , impondo, nomeadamente, que fosse menor que 0.3 a 1 GeV^2 .

Estes resultados evidenciam que os gluões polarizados não são decisivos para resolver o famoso problema que é conhecido por “crise de spin”: o spin dos quarks não explica o spin total do protão. Parece hoje provável que, em vez de ter origem nos gluões, grande parte do spin do protão é devido ao momento angular orbital de pares quark-antiquark dentro do protão. Para devidamente se determinar o momento angular orbital correspondente aos quarks, as experiências mais adequadas são as de dispersão de Compton (choque elástico de nucleões com fotões) profundamente virtual, designada por DVCS, do inglês *Deeply Virtual Compton Scattering*. A exploração de DVCS para extrair informação quantitativa sobre o movimento orbital relativo dos quarks está ainda a dar os seus primeiros passos. É já no entanto encorajador que uma análise dos dados recentes de HERMES (para o protão) e do JLab (para o neutrão) concorde com a distribuição para o momento angular do sabor dos quarks determinada nas simulações recentes de QCD numa rede discreta de espaço-tempo, bem como o modelo de Myhrer e Thomas que explica a “crise de spin”.

COMO SE EMPARELHAM NUCLEÕES VIZINHOS?

Durante mais de 30 anos os físicos nucleares enfrentaram o desafio de explicar os baixos factores espectroscópicos observados ao longo da tabela periódica. As causas potenciais apontadas usualmente incluíam os graus de liberdade da excitação do nucleão, que se designa por ressonância Δ , o core da interacção nucleão-nucleão devido à troca de pares quark-antiquark e, por último a chamada força tensorial. Dados experimentais recentes [10] de reacções de dispersão de electrões em núcleos leves, como o ^{12}C , acompanhadas da emissão de um par de nucleões com baixo momento relativo e assim significativamente correlacionados – reacções abreviadamente representadas por $e(e', NN)$ – evidenciaram com clareza que com um momento linear relativo da ordem de $500 \text{ MeV}/c$ o número de pares pn (protão+neutrão) emitidos é uma ordem de grandeza superior ao número de pares pp (dois protões). Como por exigência de simetria de troca entre os dois protões, isto é, do Princípio de Exclusão de Pauli, a força tensorial entre dois protões é nula⁶, os resultados experimentais evidenciaram fortemente que é a força tensorial que causa o efeito dominante, eliminando o peso das outras causas usualmente apontadas para as correlações de curto alcance.

⁶ Em consequência do princípio de Pauli os dois protões estão obrigatoriamente no estado de spin total $S=0$, com spins antiparalelos, o que implica que a força tensorial se anule (NE).

OS PROTÕES EMPARELHAM-SE MAIS COM OS NEUTRÕES QUE ENTRE SI

Há anos que as correlações entre nucleões a distâncias extremamente curtas, biliões de vezes mais pequenas que 1mm, têm vindo a ser imaginadas em modelos teóricos. Uns modelos explicam-nas pela troca de quarks entre nucleões diferentes, outros pelos estados excitados ou ressonâncias dos nucleões provocados pelas densidades inimaginavelmente grandes do interior dos núcleos atômicos --- da ordem de décimas do bilião de toneladas por dm^3 . Foi em 2008 que no JLab, pela primeira vez, se observou e mediu a prevalência de pares próton-neutrão sobre pares

próton-próton (ou neutrão-neutrão) nos núcleos. Esta prevalência está na origem da organização da tabela periódica e tem implicações na compreensão de sistemas nucleares muito frios e densos, como as estrelas de neutrões. Os resultados obtidos excluíram cenários de explicações teóricas possíveis para as correlações entre nucleões quando estes se aproximam muito uns dos outros. O cenário tradicional da força de tipo tensorial, que faz intervir simultaneamente a posição da matéria no espaço e a sua propriedade quântica de spin, passou o teste experimental.

Teresa Peña

MODIFICAÇÕES NO MEIO HADRÓNICO

Dado que a teoria fundamental das interações fortes é a QCD, e desse ponto de vista os núcleos atômicos são simplesmente funções próprias do Hamiltoniano de QCD com número bariónico diferente, torna-se essencial perguntar qual é o papel explícito dos graus de liberdade dos quarks e dos gluões, na determinação das propriedades dos núcleos. Que eles *desempenham* um papel fundamental ficou claro já há 20 anos, com a descoberta do efeito nuclear designado por EMC, que demonstrou uma diferença significativa entre a estrutura de quarks de valência de um nucleão livre e a de um nucleão ligado, preso num meio nuclear (núcleo finito ou matéria nuclear, esta infinita ou praticamente sem fronteiras).

A técnica de recuo de polarização descrita no início deste artigo na discussão sobre a determinação do quociente G_E/G_M para o próton livre foi explorada por Strauch et al., em sequência do trabalho pioneiro realizado em Mainz para determinar G_E/G_M para o próton ligado no núcleo de ^4He . As modificações subtis que surgiram são consistentes com as modificações previstas no quadro do modelo de acoplamento entre quarks e mesões, no qual as modificações pelo meio na estrutura do nucleão também explicam o efeito EMC [11]. Os resultados finais do JLab, com erros sistemáticos e estatísticos muito mais pequenos serão publicados brevemente. Estes novos resultados também vão fornecer testes decisivos a propostas alternativas que expliquem os novos dados em termos de interações bastante fortes no estado final.

PARA LÁ DO MODELO PADRÃO

Ao longo dos anos foi sendo reconhecido que medidas precisas dos parâmetros do Modelo Padrão a baixas energias podem ser usadas para testar nova física a energias muito mais altas, mesmo fora do alcance dos maiores aceleradores de partículas.

Enquanto a determinação das contribuições do quark s para os factores de forma eléctricos e magnéticos usou os valores do Modelo Padrão para os acoplamentos efetivos electrão-quark que violam a paridade, C_{1u} and C_{1d} , a qualidade dos dados experimentais é tal que pode ser usada [6], em combinação com as medidas extremamente precisas sobre a violação de paridade no Cs, para aumentar de um factor de 5 a precisão com que C_{1u} and C_{1d} são conhecidos (ver a Fig. 3). Por sua vez, este conhecimento aumenta o limite inferior da massa associada à possibilidade de nova física para além do Modelo Padrão, para 0.9 TeV (de 0.4 baseado nos dados experimentais de violação da paridade existentes). Nos próximos anos, antes do *shutdown* para implementação do *upgrade*, a colaboração Q_{weak}

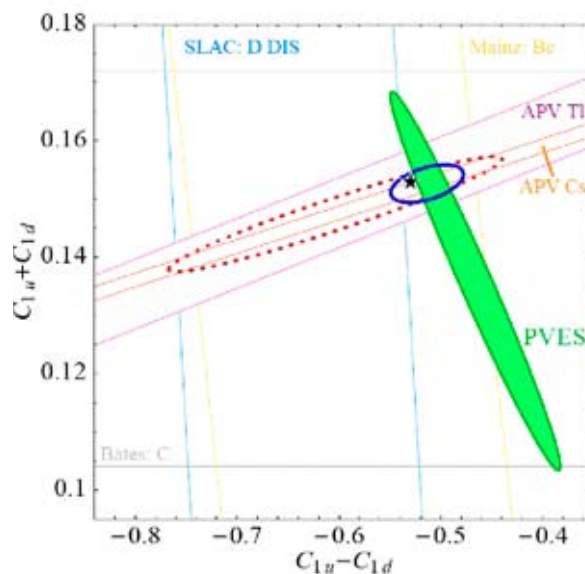


Figura 3 - Constrainimentos nos parâmetros do modelo padrão C_{1u} and C_{1d} extraídos da análise global dos resultados de PVES [6], dominados por Happex and G0 no JLab, em conjunto com as medidas de violação da paridade no Cs. O factor de 5 de melhoria da precisão está indicado pela elipse azul comparada com a elipse obtida sem os dados de PVES.

tem como objectivo colectar dados que devem aumentar esta precisão de mais um factor de 5, conduzindo ao limite correspondente para o limite da massa para nova física para 2 TeV ou mais. Estes resultados constituem uma contribuição significativa para a procura a nível mundial do já muito antecipado novo paradigma da física, para lá do Modelo Padrão.

O UPGRADE PARA 12 GEV E A MATÉRIA EXÓTICA

Em Maio de 2012 o presente programa experimental parará, para que se inicie o *upgrade* do actual acelerador para 12 GeV. Feixes independentes de 11 GeV serão levados aos três sectores experimentais A, B e C existentes, e um feixe de 12 GeV chegará ao novo sector D, onde terá lugar a experiência Gluex.

Este ultimo está especialmente planeado para permitir uma análise detalhada dos múltiplos estados mesónicos⁷ e assim permitir mapear a existência das propriedades dos mesões de massa entre 1.5 e 2.6 GeV, usando fotoprodução. Em

⁷ Enquanto o próton (e todas as partículas da família designada por bariões, por serem mais pesados) têm números quânticos correspondentes aos da soma de três quarks, os mesões correspondem a um par quark-antiquark (apresentando massas intermédias entre os leptões, como o electrão ou o muão, e os bariões) (N. E.)

particular, o nosso conhecimento actual de QCD sugere que se devem encontrar 3 multipletos de mesões “exóticos” nessa região de massa – isto é, mesões com números quânticos só possíveis se na sua estrutura existir explicitamente *glue*, a “cola” que corresponde nas interacções fortes aos fotões da interacção electromagnética⁸. A existência destes mesões promete olhar profundamente para a natureza do confinamento de quarks, um dos desafios mais fundamentais de QCD e de toda a física.

Para lá do estudo dos mesões exóticos, e da natureza do confinamento, o *upgrade* vai proporcionar uma capacidade notável para explorar a estrutura de valência dos nucleões e dos núcleos. Por exemplo, depois de mais de 30 anos de experiências sobre dispersão profundamente inelástica de electrões, ainda não conhecemos a distribuição de partões (e do momento linear) dos quarks d na região de valência dos núcleos. A distribuição relativa de spin pelos quarks u e d é também desconhecida para lá do valor 0.4 da variável de Bjorken-x, que mede a fracção de momento transmitido pelo fotão ao quark, e vai ser medida com grande precisão depois do *upgrade*.

Tendo em vista a discussão anterior sobre o problema do spin do protão e a importância do momento angular dos quarks, o estudo de DVCS a 12 GeV abre quase toda a região de valência (até x~0.7). Nos primeiros 5 anos de operação a 12 GeV, esperamos desenvolver uma compreensão do processo de DVCS e fazer a sua interpretação. Vai ser possível usar esse processo e o correspondente em que mesões vectoriais são emitidos, como um instrumento para determinar o momento angular total transportado por cada quark individual. Este estudo oferece a possibilidade fascinante de extrair imagens tomográficas a 3 dimensões do nucleão, em que se vê a distribuição de momento longitudinal em função da posição transversal do quark

atingido pelo fotão.

Com as suas capacidades para explorar a região de valência, depois do *upgrade* para 12 GeV, o JLab será ideal para estudar o efeito chamado EMC: Há sugestões de que as modificações à estrutura do spin do protão no meio nuclear possam ser duplicadas relativamente às modificações do caso não-polarizado. Se se confirmar esta hipótese, haverá evidência directa de que a modificação da estrutura no nucleão num meio é realizada através de um campo médio escalar existente nos núcleos. Pode-se então explorar as componentes iso-vectoriais do efeito EMC, e talvez as mudanças associadas modelos em camada individuais. Num nível ainda mais ambicioso, estes estudos podem obter informação totalmente nova sobre o papel do quark e dos gluões na estrutura nuclear, que só agora começou a ser investigado experimentalmente.

Já mencionámos como estudos de PVES a 6 GeV levam a novos e importantes constrangimentos na física para lá do Modelo Padrão, o que estimulou pensarmos no *upgrade* para 12 GeV. Existe já a proposta para medir $\sin^2\theta_W$ na dispersão de Moller a um nível de precisão que testa a evolução da massa do Z ao nível 7σ . Outra proposta para estudar dispersão inelástica profunda irá melhorar dramaticamente o nosso conhecimento sobre C_{2u} and C_{2d} , fornecendo ainda outro importante e independente teste ao Modelo Padrão.

Descrevemos assim brevemente as grandes linhas do programa científico do JLab na última década e algumas das ideias-chave que motivam o seu *upgrade* para 16 GeV que se encontra já em plena preparação. Contudo, não temos dúvidas, porque em ciência o inesperado tem um valor incalculável, pode acontecer que nos próximos vinte anos do Jlab se gere física importante, mas que não é nada do que foi aqui descrito. Se assim acontecer, será um bom sinal para a física! O JLab lança aqui um convite sincero para participarem no projecto a todos os que tenham uma boa ideia a explorar.

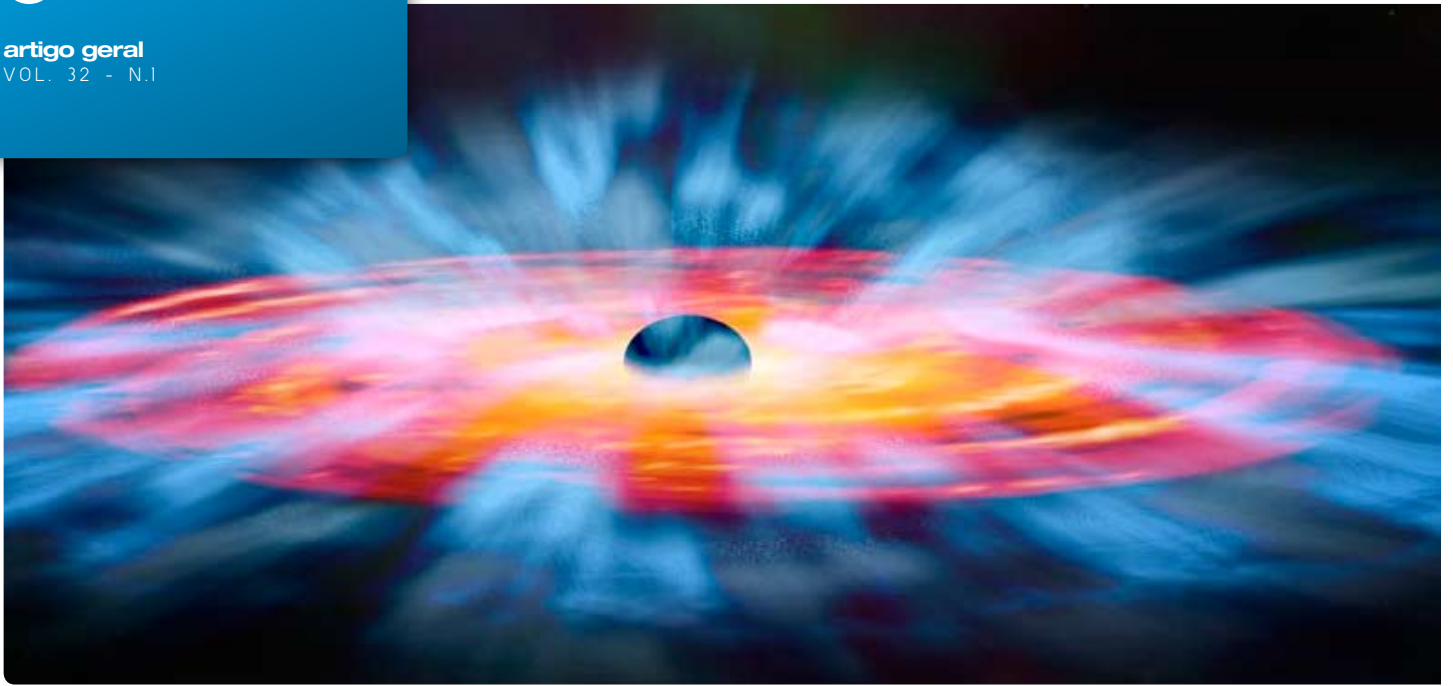
⁸ Assim como os fotões servem de intermediários na força entre cargas, os “gluões” servem de intermediários entre na força entre as cargas da interacção forte. (N. E.)

Referências

- | | | |
|---|---|---|
| [1] V. Punjabi et al., Phys. Rev. C71, 055202 (2005). | 032301 (2007); D. S. Armstrong et al., Phys. Rev. Lett. 95, 092001 (2005). | [8] V. Dharmawardane et al., Phys. Lett. B641, 11 (2006). |
| [2] C. Perdrisat, apresentação em PANIC 08 (para publicação). | [5] R. D. Young et al., Phys. Rev. Lett. 97, 102002 (2006) | [9] E. Leader et al., Phys. Rev. D75, 074027 (2007). |
| [3] P. G. Blunden et al., Phys. Rev. Lett. 91, 142304 (2003). | [6] R. D. Young et al., Phys. Rev. Lett. 99, 122003 (2007) | [10] R. Subedi et al., Science 320, 1476 (2008). |
| [4] A. Acha et al., Phys. Rev. Lett. 98, | [7] D. B. Leinweber et al., Phys. Rev. Lett. 97, 022001 (2006); Phys. Rev. Lett. 94, 212001 (2005). | [11] S. Malache et al., AIPCP 1056, 141 (2008). |

ANTHONY W. THOMAS é actualmente *Chief Scientist e Associate Director* para Física Teórica e Computacional no Jefferson Laboratory. Doutorado em 1973 pela Universidade de Flinders, a sua carreira continuou na Universidade de British Columbia, e depois nas posições permanentes que obteve no TRIUMF e no CERN, antes de regressar à Austrália em 1984, onde na Universidade de Adelaide foi *Associate Dean* e eleito para o *University Council* de 1991 a 1997. Foi secretário da Comissão C12 (Física Nuclear) da IUPAP de 1996 a 2002. Desde 2005, preside ao IUPAP *Working Group on International Cooperation in Nuclear Physics*. De 2006 a 2008 serviu no grupo *OECD Global Science Working Group on Nuclear Physics*. É *Fellow* da Academia Australiana de Ciências desde 1990 e serviu como Presidente do Instituto Australiano de Física de 1991 a 1993. Foi eleito *Fellow* da Sociedade Americana de Física em 1987 e do Institute of Physics (IoP) no Reino Unido em 1996. Recebeu as medalhas Harrie Massey Medal (IoP) em 2000, Thomas Ranken Lyle Medal (AAS) em 1997, Walter Boas Medal (AIP) em 1987, e o prémio de investigação da Fundação Alexander von Humboldt em 1992.





Colidindo buracos negros

VÍTOR CARDOSO E CARLOS HERDEIRO

BURACOS NEGROS SÃO OBJECTOS ASTROFÍSICOS EXTREMAMENTE FASCINANTES. UM DOS EVENTOS MAIS ESPECTACULARES E VIOLENTOS DO COSMOS É A COLISÃO DE DOIS BURACOS NEGROS. APÓS DÉCADAS DE TENTATIVAS, OS FÍSICOS CONSEGUIRAM FINALMENTE PROGRESSOS IMPORTANTES EM RELATIVIDADE NUMÉRICA, QUE JÁ PERMITEM COMEÇAR A ENTENDER ESTES EVENTOS.

ONDAS GRAVITACIONAIS: JANELAS SOBRE O UNIVERSO

Se por artes de magia, o Sol desaparecer num certo instante, o movimento da Terra será afectado imediatamente, de acordo com a teoria da gravitação Newtoniana. No entanto, esta resposta é inaceitável; significa que a teoria da gravitação Newtoniana tem uma propagação instantânea, violando assim, os princípios de causalidade da relatividade restrita,

nomeadamente o de que nenhum sinal se pode propagar com uma velocidade superior à da luz no vazio.

O problema foi resolvido com o advento da teoria da gravitação relativista de Albert Einstein, denominada “Relatividade Geral”. Esta teoria descreve o campo gravítico de um corpo através de deformações do espaço e do tempo. Assim, podemos imaginar o espaço na ausência de fontes gravíticas como um lençol esticado na horizontal, enquanto que, na presença dessas fontes – uma estrela, por exemplo –, o espaço “afunda” como se colocássemos sobre o lençol uma bola pesada (ver Fig. 1). Einstein compreendeu que, nesta descrição, o desaparecimento do Sol seria “anunciado” a todo o cosmos sob a forma de uma variação ondulatória da geometria do espaço-tempo. Isto é, ao retirarmos a bola do lençol, ondas “sísmicas” circulares propagam-se sobre ele, com epicentro no local de onde a bola desapareceu e com uma certa velocidade. No caso do espaço-tempo, essa velocidade é exactamente igual à da luz e as ondas chamam-se “ondas gravitacionais”.

Em 1918, após alguns avanços e recuos, Einstein compreendeu em que condições um sistema emite ondas gravitacionais. A emissão acontecerá sempre que uma propriedade denominada momento quadrupolar do sistema variar no tempo. Na prática, quase todo o tipo de aceleração gera ondas gravitacionais. Um exemplo simples é um sistema binário – por exemplo, uma estrela e um planeta orbitando em torno do centro de massa. Mas enquanto que a emissão do sistema Sol-Terra é extremamente ténue e inobservável, a emissão por um sistema binário de estrelas de neutrões pode produzir efeitos importantes. Em particular, a emissão destas ondas faz o sistema perder energia, o que provoca uma pequena variação no movimento de cada estrela: ao longo do tempo, estas aproximam-se mutuamente, diminuindo o período orbital, numa espiral que acaba quando as duas estrelas colidem. Este efeito foi detectado graças à descoberta, em 1974, por Russell Hulse e Joseph Taylor, de um sistema

A emissão por um sistema binário de buracos negros, especialmente na fase final em que estes estão próximos e coalescem, deverá ser um dos fenómenos mais espectaculares na natureza, no que toca à emissão de ondas gravitacionais.

As ondas gravitacionais interagem muito fracamente com a matéria, e é por essa razão que são tão importantes: ao contrário da luz – que é absorvida, espalhada e reflectida por poeira cósmica (por exemplo) –, as ondas gravitacionais transportam informação pura sobre como e onde nasceram. Deste modo, a observação de ondas gravitacionais abre uma janela completamente nova no universo, permitindo perceber objectos muito densos e massivos como buracos negros e estrelas de neutrões – e talvez o próprio início do universo.

Desde a década de 1960, altura em que se desenrolaram as experiências pioneiras de Joseph Weber, a observação directa de ondas gravitacionais tem sido um dos grandes

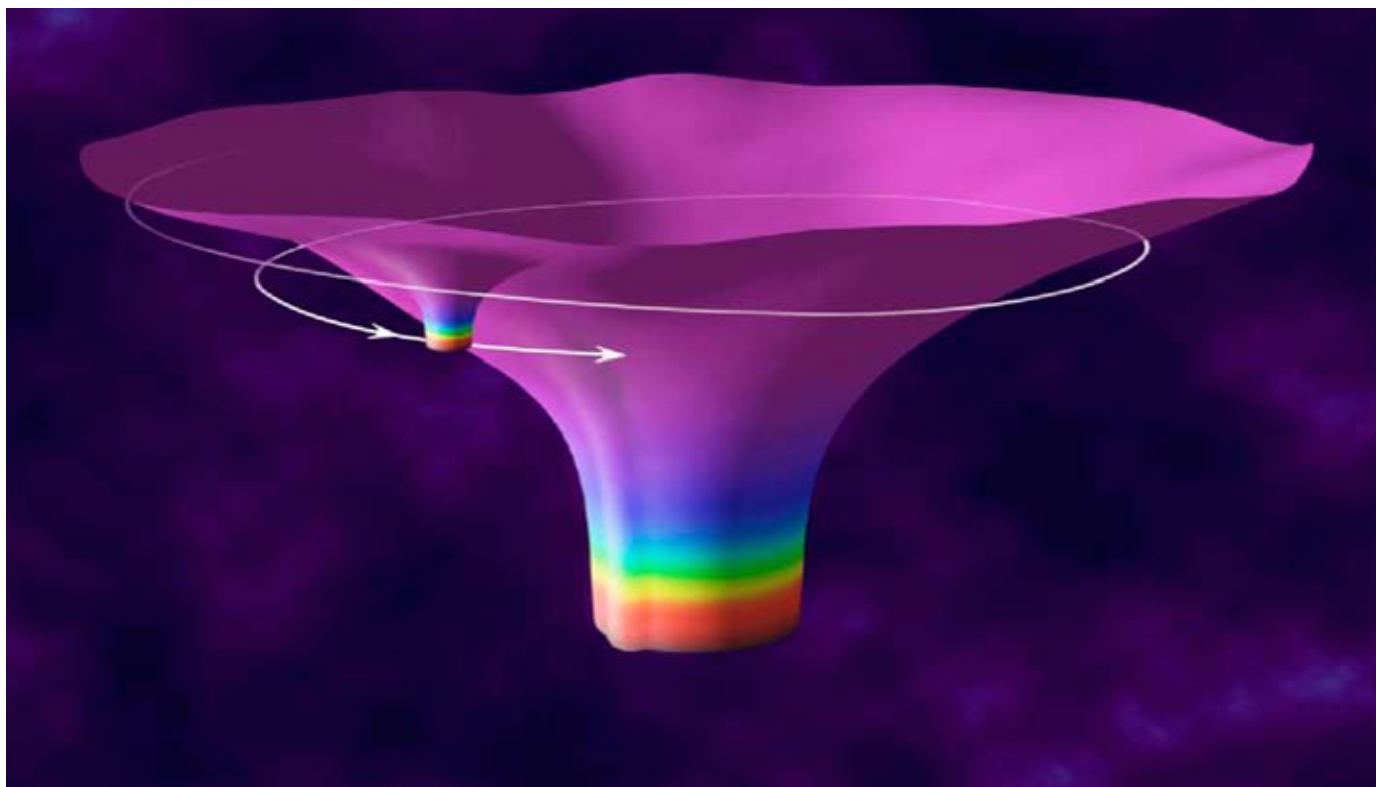


Figura 1 - Em Relatividade Geral, a gravitação é curvatura. Um corpo a orbitar em torno de outro, como a Terra em torno do Sol, é descrito em termos de curvatura da “geometria”. As ondas gravitacionais são pequenas oscilações que se propagam nesta geometria.

binário de estrelas de neutrões em que foi possível medir, ao longo de quase duas décadas, a variação do período orbital do sistema, verificando-se que estava em perfeito acordo com a previsão da Relatividade Geral para o sistema em questão. Esta descoberta valeu-lhes o Nobel da Física de 1993, por ter permitido a detecção indirecta de ondas gravitacionais.

desafios tecnológicos inspirados pela ciência fundamental (o facto destas ondas interagirem muito fracamente é um senão quando as queremos “ver” num detector). Existe actualmente um comité internacional (GWIC, *Gravitational Wave International Committee*) cujo papel é facilitar e promover a cooperação entre os vários detectores de ondas gravitacionais que estão a ser desenvolvidos e planeados (Advanced LIGO, Advanced VIRGO, GEO 600, TAMA/LCGT,

AIGO, LISA, etc). O investimento nestes detectores torna fundamental a existência de previsões teóricas das características dos sinais de ondas gravitacionais, especialmente para os acontecimentos que poderão fornecer sinais mais fortes, como a coalescência de dois buracos negros. Felizmente, progressos fantásticos na comunidade da relatividade numérica, iniciados por volta de 2005, estão a permitir obter essas previsões.

RELATIVIDADE NUMÉRICA

Para se compreender o que acontece quando dois buracos negros coalescem é necessário resolver as equações de Einstein. Infelizmente, a complexidade das equações é tal que não se conhece nenhuma “lei de Kepler” em Relatividade Geral, isto é, uma solução que descreva dois corpos em movimento orbital. Chama-se a isto o “problema dos dois corpos”.

Este impasse resolve-se com força bruta: escrevem-se as equações de Einstein numa forma que um computador consiga entender e espera-se até que este faça o seu trabalho. As primeiras tentativas de reescrever as equações de Einstein para um computador datam dos anos 70, com os esforços pioneiros de Hahn, Lindquist, Smarr, Eppley, etc. Foi nesta altura que, pela primeira vez, se “colidiram” buracos negros num supercomputador, partindo do repouso a uma certa distância e chocando frontalmente. Simulações numéricas que durassem muito tempo, como por exemplo num binário de buracos negros espiralando até à coalescência, eram impossíveis de fazer. A razão era prática, uma vez que o poder computacional era limitado, mas também teórica, pois apareciam instabilidades numéricas. Nos anos 90, com supercomputadores poderosos, organizou-se uma tentativa ambiciosa de resolver o problema dos dois corpos, a que se chamou “Binary Black Hole Grand Challenge Alliance”. Esta aliança reunia vários peritos, muitos alunos e milhões de euros com o propósito único de simular nume-

ricamente dois buracos negros em órbita em torno um do outro. O desafio não foi ultrapassado na altura, e o investimento foi, sob algumas perspectivas, um fracasso. A razão era conhecida: ao fim de meio ciclo, o computador dava erro. Mais uma vez, apareciam instabilidades numéricas.

Em 2005, Frans Pretorius, um jovem físico do California Institute of Technology (agora em Princeton), conseguiu ultrapassar todas as dificuldades. Seguiu-se uma actividade frenética de todos os grupos com códigos “moribundos” com o objectivo de os reavivar, de acordo com as sugestões de Frans. Em pouco tempo, existia já uma mão cheia de grupos no mundo capazes de resolver numericamente o problema dos dois corpos em Relatividade Geral. Esta fase, que é conhecida como a fase áurea da Relatividade Numérica, continua até aos dias de hoje.

NOVOS FENÓMENOS

As primeiras simulações numéricas mostraram algo surpreendente: quando os dois buracos negros coalescem, dão origem a um único buraco negro com uma grande velocidade de recuo; um fenómeno baptizado de *black hole kicks!* Isto apenas acontece se os dois buracos negros tiverem massa diferente; nesse caso a radiação gravitacional transporta momento linear, pelo que o buraco negro final tem necessariamente uma certa “velocidade de recuo”. O espantoso é que esta velocidade de recuo pode atingir 170 Km/s se os buracos negros não tiverem rotação (*spin*), e mais de 1000 Km/s se tiverem *spins* apropriados. Ora estas velocidades podem ser suficientes para cuspir o buraco negro final para fora da galáxia: dependendo da massa desta, a velocidade de escape é tipicamente inferior a 1000 Km/s. Assim, os *kicks* podem influenciar significativamente tanto a forma como as galáxias e os buracos negros crescem, como a relação entre a massa de uns e outros.

Contudo, o resultado mais aguardado era o sinal gravitacional emitido no processo. Este sinal é importantíssimo para as centenas de físicos que trabalham nos detectores de ondas gravitacionais, pois sem ele é quase impossível fazer uma detecção fiável. Se os dois buracos negros tiverem a mesma massa, a onda gravitacional tem a forma mostrada na Fig. 2. A fase inicial do processo é simples e corresponde a um grande afastamento entre os buracos negros. O sinal é quase sinusoidal, com frequência dupla da frequência orbital. Segue-se uma fase violenta, em que os buracos negros coalescem num único buraco negro final. Este nasce “deformado” e, tal como um sino, vibra até atingir o estado mais natural, que neste caso é um buraco negro em rotação. Estas vibrações sinusoidais amortecidas

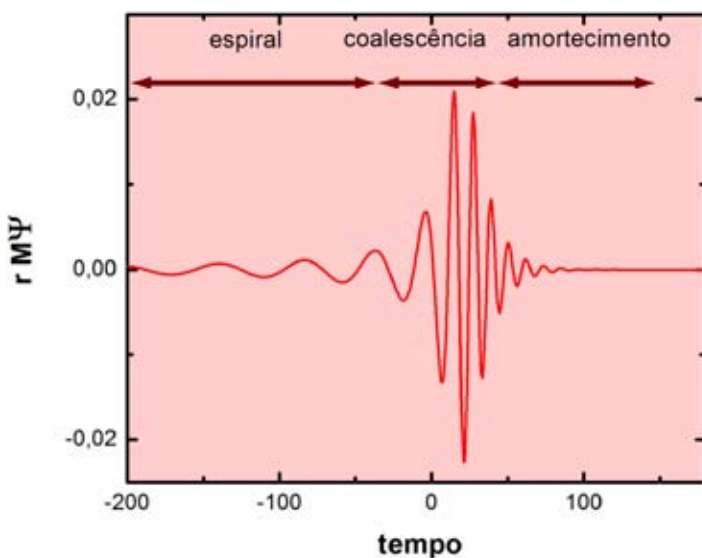


Figura 2 - Onda gravitacional gerada na fase final da vida de um sistema binário de buracos negros, cada um com 10^5 massas solares. Em $t=0$ forma-se um horizonte de eventos comum, isto é, corresponde ao aparecimento do buraco negro final. A quantidade Ψ mede a curvatura (“escalar de Weyl”) do espaço-tempo, e é observada no plano orbital.

são conhecidas como oscilações quasi-normais dos buracos negros. O sinal da Fig. 2 está neste momento a ser procurado no meio dos dados que os detectores de ondas gravitacionais debitam.

Finalmente, a Relatividade numérica permitiu estudar um dos exemplos mais excitantes de processos com buracos negros: a colisão ultra-relativista entre buracos negros. Este é um importante e antigo problema em Relatividade Geral. Sendo extremamente violento, não há ferramentas analíticas que consigam descrever o processo: é necessário resolvê-lo no computador. Pensava-se que, devido à violência do choque, poderia ser possível que o objecto final fosse uma singularidade nua no espaço-tempo, algo de estranho e indesejável. Os resultados numéricos mostram que não: a colisão de dois buracos negros a grande velocidade produz, no final, um novo buraco negro, e radia cerca de 14% da energia inicial do sistema sob a forma de ondas gravitacionais. Este é o processo mais eficiente que se conhece para “geração” de energia – 14% parece pouco, mas é uma quantidade enorme! Em comparação, numa reacção nuclear apenas algumas fracções de percentagem da massa em repouso são convertidas em energia. Uma animação deste processo pode ser vista na Ref. [5], onde é claro que o buraco negro final também está a vibrar.

O FUTURO

Os resultados descritos atrás foram obtidos nos últimos dois anos, o que deixa antever o enorme potencial do campo. Há muito para fazer e aprender. Dada a complexidade, o problema só será resolvido através de colaborações internacionais. Físicos portugueses estão também empenhados em contribuir, existindo neste momento uma colaboração internacional que envolve um grupo do Instituto Superior Técnico e outro da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto.

A física de buracos negros tem assumido na última década um papel fulcral não só em Astrofísica mas também em física de altas energias e física fundamental. A única forma de entender estes objectos, especialmente na presença de uma forte dinâmica, é perscrutando as equações de Einstein com técnicas numéricas, à procura de novos fenómenos e efeitos. Podemos tentar antecipar as surpresas que iremos encontrar mas, como nos ensinou o mestre Arthur C. Clarke no prólogo do seu clássico “2001 Odisseia no Espaço”, a “realidade será sempre mais estranha do que a ficção.”

Referências

[1] Frans Pretorius, “Binary black hole coalescence”, e-Print: arXiv:0710.1338 [gr-qc]
[2] Ulrich Sperhake, Vitor Cardoso, Frans Pretorius, Emanuele Berti, Jose Gonzalez, “The high-energy collision of two black holes”, Phys. Rev. Lett. 101, 161101 (2008). e-Print: arXiv:0806.1738 [gr-qc]

[3] Jose Gonzalez, Mark Hannam, Ulrich Sperhake, Bernd Bruegmann, Sascha Husa, “Supermassive recoil velocities for binary black-hole mergers with antialigned spins”, Phys. Rev. Lett. 98, 231101 (2007). e-Print: gr-qc/0702052

[4] Davide Castelvecchi, “No naked black holes”, Science News, http://www.sciencenews.org/view/generic/id/37200/title/No_naked_black_holes
[5] <http://gamow.ist.utl.pt/~vitor/highenergycollisions.html>



Carlos Herdeiro é investigador no Centro de Física da Universidade do Porto. Doutorou-se em 2001 na Universidade de Cambridge, Inglaterra, foi post-doc na Universidade de Stanford (EUA), e Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP). De 2003 a 2008 foi Prof. Auxiliar Convocado do Departamento de Física da FCUP. Desde 2007 é presidente da delegação norte da Sociedade Portuguesa de Física. Recebeu em 2005 um Prémio de Estímulo à Investigação da Fundação Calouste Gulbenkian pelo seu trabalho de ligação entre teoria de cordas e cosmologia. A sua pesquisa incide ainda sobre a física de buracos negros.

Vitor Cardoso é investigador no Instituto Superior Técnico (IST), onde trabalha no CENTRA, no Departamento de Física do IST, e Professor Adjunto na Universidade do Mississippi, onde está neste momento como cientista Fulbright e membro da colaboração científica do LIGO. Previamente, foi investigador de pós-doutoramento nas Universidades de Coimbra, Washington em St. Louis, e Mississippi. A sua pesquisa incide principalmente sobre fontes de ondas gravitacionais e a sua detecção, e também sobre efeitos gravitacionais em colisões relativistas.





Terapia do cancro com protões: passado, presente e futuro

JOÃO SECO

HARVARD MEDICAL SCHOOL E MASSACHUSETTS GENERAL HOSPITAL^a

A GUERRA CONTRA O CANCRO TEM SIDO UMA LUTA ÁRDUA E SEM TRÉGUAS, ONDE AVANÇOS TECNOLÓGICOS TÊM PERMITIDO UMA MAIOR EFICIÊNCIA NO TRATAMENTO E UM PROLONGAR DA VIDA DOS DOENTES. A RADIOTERAPIA COM PROTÕES ENCONTRA-SE À BEIRA DE UM “SALTO” TECNOLÓGICO QUE PODERÁ TER UM IMPACTO SIGNIFICATIVO NO COMBATE AO CANCRO DEVIDO À SUA CAPACIDADE DE REDUZIR SUBSTANCIALMENTE A RADIAÇÃO FORNECIDA A ÓRGÃOS SAUDÁVEIS.

Esse avanço encontra-se ligado a vários desenvolvimentos: i) novos modelos de aceleradores de protões, compactos e por uma fracção do custo dos antigos, ii) feixes de protões de intensidade modulada que permitem melhor conformidade da radiação ao tumor com substancial redução da dose fornecida a órgãos saudáveis envolventes, e iii) desenvolvimento de novos detectores para imagiologia com protões. Actualmente existem cerca de 20 centros mundiais que se espe-

cializaram na terapia do cancro com protões e que tratam uma fracção (menos de 0.1%) de todos os pacientes anualmente tratados com qualquer tipo de radiação. Mas no futuro o desenvolvimento e a evolução da terapia com protões poderá beneficiar a precisão e a eficiência do tratamento e qualidade e longevidade de vida de centenas de milhares de pessoas pós-tratamento.

ORIGEM DA TÉCNICA DE TERAPIA POR PROTÕES

O uso de protões em radioterapia foi proposto por Robert Wilson em Harvard em 1946 [1]. O primeiro paciente foi tratado em 1954 no Laboratório Lawrence Berkeley [2]. Até aos nossos dias, cerca de 40 mil pacientes têm sido tratados com protões [3], sendo este número de doentes uma pequena fracção dos doentes tratados mundialmente com fotões e electrões. Uma das razões para este baixo número de doentes tratados com protões é o custo associado com a construção e a operação de um centro de terapia com protões que ronda os 100 milhões de dólares americanos. Isso é cerca de cinco a dez vezes mais caro do que um centro de terapia com fotões e electrões. Este custo advém

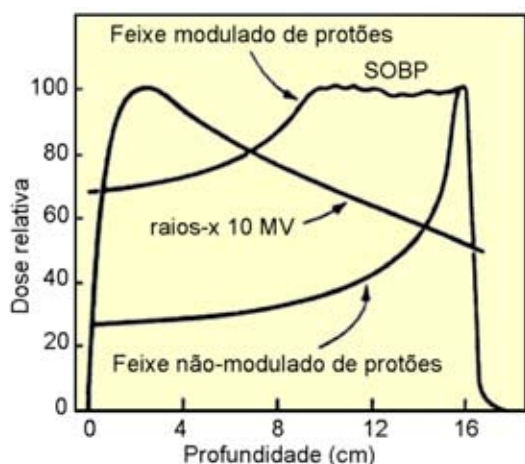


Figura 1 - Deposição de dose para prótons e fótons em água. A curva não-modulada representa um feixe mono-energético de prótons (pico de Bragg). A curva modulada representa vários feixes de prótons de diferentes energias combinados para produzir uma dose constante em profundidade, que se designa por SOBP (*Spread Out Bragg Peak*). A curva de "Raios-x 10 MeV" representa a deposição de dose de raios-X em água.

da construção e operação do ciclotrão ou sincrotrão utilizados para produzir os prótons com energia suficiente para serem úteis na terapia do cancro.

VANTAGEM CLÍNICA DE PROTÕES

Os prótons têm características dosimétricas (dose é a energia depositada por unidade de massa num volume) bem distintas dos fótons utilizados em radioterapia convencional, conferindo-lhes uma grande vantagem no tratamento do cancro. Depois de um pequeno *build-up* de 1 a 3 cm em profundidade, na terapia convencional com fótons há um decaimento exponencial na energia depositada com o aumento da profundidade da radiação no tecido. Em contrapartida, os prótons demonstram uma deposição de energia aproximadamente constante em profundidade, denominada a região do *plateau*, até próximo do ponto de profundidade máxima, designada a região do pico de Bragg. A energia depositada pelo próton aumenta exponencialmente antes do pico de Bragg decaindo rapidamente até zero depois do pico até à paragem total do próton.

A grande vantagem dos prótons é que a maioria da energia do próton é depositada dentro da região do pico de Bragg. A restante energia é depositada na região do *plateau*. A energia do próton pode ser modulada através de *range shifters* (servem para reduzir a energia do próton incidente e assim reduzir o seu alcance dentro do doente) de modo a que o pico de Bragg se encontre dentro da região do tumor. A vantagem clínica do uso de prótons sobre outros métodos de radiação (i.e. fótons e electrões) é a possibilidade de fornecer doses mais elevadas ao tumor, sem o aumento da toxicidade dos órgãos envolventes. Os prótons têm sido utilizados no tratamento de vários tumores, incluindo os casos dos seios paranasais, cordoma, condrosarcoma, meningioma, próstata, e pulmões [4-8].

Para além da vantagem dosimétrica do próton sobre o

fóton, existe também a vantagem biológica. Para se obter um idêntico efeito biológico é necessária uma menor dose de radiação de prótons relativamente à dos fótons. O efeito biológico da radiação designa-se por RBE (*Relative Biological Effectiveness*) e é definido como a razão da dose de radiação de referência (habitualmente o Cobalto-60, ^{60}Co), dividida pela dose de radiação de prótons. A razão fundamental para a utilização do RBE é permitir aos médicos oncologistas utilizarem e beneficiarem dos vastos resultados clínicos que existem com fótons. O factor RBE para prótons é 1.1, sendo este o valor universalmente utilizado quando se faz um plano de tratamento para um paciente. O valor de RBE é medido *in-vitro* e *in-vivo* para vários tipos de células cancerosas, onde a variabilidade observada é de 10-20%. O efeito da radiação nas células e nos tecidos é um função complexa e não muito bem conhecida, e como tal é difícil explicar o RBE de uma forma microscópica. No entanto, sabe-se que o RBE depende fortemente da transferência linear de energia (LET - *Linear Energy Transfer*) que caracteriza a quantidade de energia ionizante depositada por cada "passo" que a radiação toma num meio. Esta radiação ionizante interage com o DNA da célula de modo a criar lesões não-reparáveis. A densidade de lesões ionizantes não reparáveis aumenta proporcionalmente com o aumento do LET da radiação e, em consequência, produz também um aumento do RBE da radiação.

A PRODUÇÃO DE UM CAMPO CLÍNICO DE PROTÕES

Ciclotões ou sincrotrões são utilizados para gerar prótons com energia cinética entre 50 e 250 MeV, o que permite uma penetração dos prótons nos pacientes desde poucos milímetros até aos 35 cm. Habitualmente, existem entre três a cinco salas de



Figura 2 - O exemplo de um gantry para feixe de prótons, do Francis H. Burr Proton Center, Massachusetts General Hospital, Boston, EUA (Cortesia de Ion Beam Applications S.A.).

tratamento para cada acelerador. Usando um campo magnético, esses prótons são depois guiados até à sala de tratamento, através da linha de feixe. Um feixe de prótons horizontal só pode ser utilizado para tratar doentes sentados ou quase sentados. Para permitir uma maior flexibilidade na direcção de incidência do feixe de prótons e na geração de campos largos, existe um braço (*gantry*) que permite rodar o feixe de 360° à volta do doente. O braço permite também alargar o feixe, possibilitando a criação de campos de tratamento largos até um máximo de 40x40 cm² (ver Fig. 2) .

Um dos novos modelos para aceleradores de prótons compactos envolve o uso de lasers de alta intensidade para acelerar os prótons até energias de poucas centenas de MeV em poucos milímetros. É assim possível criar um campo eléctrico enorme usando um laser de alta intensidade ($\sim 10^{20}$ W/cm²) para remover electrões de um alvo fino. A polarização resultante é da ordem dos TV/m e poderá

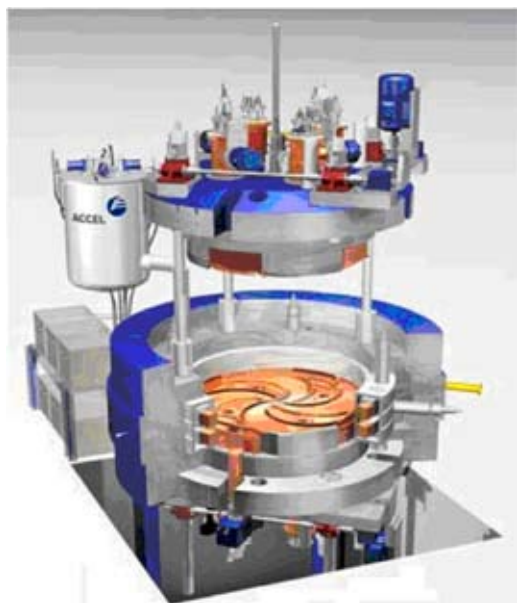


Figura 3 - Ciclotrão supercondutor de 250 MeV

produzir um feixe de prótons de várias dezenas a centenas de MeV. Contudo, vários obstáculos existem ainda, como o custo e o tamanho do laser necessário para que os prótons atinjam energias cinéticas da ordem dos 200 a 300 MeV. Outro modelo de acelerador envolve o uso do método de *dielectric wall accelerator* (DWA) a ser desenvolvido no Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL). O DWA utiliza linhas de transmissão de alta tensão para gerar um gradiente eléctrico suficientemente alto (100 MeV/m) de modo a acelerar prótons até poucas centenas de MeV em poucos centímetros. O terceiro modelo de acelerador de prótons corres-

ponde à miniaturização dos aceleradores existentes, com a utilização de campos magnéticos criados com supercondutores. Os altos campos criados em supercondutores permitem atingir vários Tesla sem aumento do tamanho do ciclotrão. Neste caso, é possível criar um acelerador de prótons numa área de três metros quadrados com as mesmas propriedades de um acelerador normal existente em vários centros mundiais.

Actualmente, ainda não existe uma versão comercial de um destes três modelos indicados, mas o grande objectivo é o desenvolvimento de um acelerador compacto e que caiba dentro de uma sala de tratamento de radioterapia.

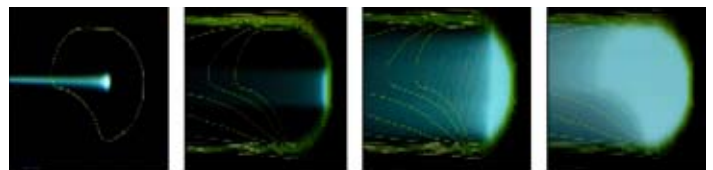


Figura 4 - Intensidade modulada com prótons, IMPT

FEIXES DE PRÓTONS COM INTENSIDADE MODULADA

Em terapia convencional com prótons, o feixe de prótons que entra no nozzle é disperso de modo a ampliar o seu tamanho, criando um feixe designado por *broad beam*, que tem intensidade homogénea e tamanho máximo de 40x40 cm². Este feixe largo é depois utilizado para tratar o doente com o uso de compensadores, que servem para reduzir o alcance dos prótons no paciente conformando o tumor. Com intensidade modulada de prótons (IMPT), um feixe com uma espessura de 1 cm é utilizado directamente para irradiar o paciente. Os prótons são guiados através do uso de campos magnéticos permitindo irradiar o paciente, linha por linha, de forma análoga ao funcionamento de uma televisão a cores. A grande vantagem do IMPT é que a dose pode ser dada ao paciente de forma mais eficiente, e sem a desvantagem dos neutrões que aparecem como radiação secundária no método de tratamento convencional.

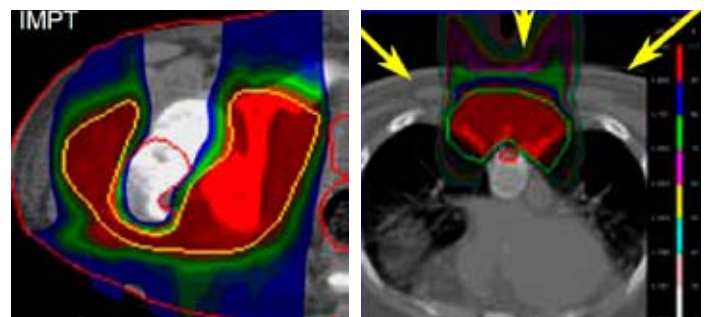


Figura 5 - Intensidade modulada com prótons para tratar um tumor em forma de U na zona do fémur (à esquerda), e à volta da espinal medula (à direita), com as setas amarelas indicando a direcção dos campos incidentes.

Outra grande vantagem da intensidade modulada é a sua capacidade de tratar tumores em forma de U, onde existe um órgão saudável situado no centro da concavidade.

Neste caso (ver Fig. 5), o IMPT é de longe o melhor método de tratamento. No caso indicado na Fig. 5, existe um tumor situado à volta do osso femural e da medula espinal. O órgão saudável situado na concavidade recebe uma fracção da radiação que é utilizada para tratar o tumor.

IMAGIOLOGIA COM PROTÕES

Em terapia com protões utilizam-se as imagens TAC (tomografia axial computadorizada) obtidas com raios-X para visualizar o tumor e os órgãos saudáveis. Pode-se também utilizar imagens com ressonância magnética ou PET (tomografia de emissão de positrões). A resolução espacial da TAC não tem paralelo com outras modalidades imagiológicas. No entanto, a sua limitação é que não fornece informação directa sobre o *stopping power* (capacidade de um certo material travar o protão com uma energia definida) de protões nos tecidos visualizados. O *stopping power*¹ é um factor importante no cálculo da dose na preparação do plano de tratamento para o paciente. Outra desvantagem da TAC é que não pode ser utilizada durante o tratamento para verificar o feixe de protões e o posicionamento do paciente devido a limitações na tecnologia actual e/ou restrições físicas.

Os novos desenvolvimentos de imagiologia com protões têm como objectivo permitir medir directamente o *stopping power* dentro do paciente e a utilização dos protões para gerar uma imagem pré-tratamento para posicionamento e controlo de qualidade do tratamento. Entre os novos detectores encontram-se os designados por detectores GEM (*gas electron multipliers*), que são compostos por um gás cintilador de Ar e CF₄, dentro de um volume metálico que serve para amplificar o sinal vindo da carga. Os detectores GEM são colocados em forma de matriz para detectar a informação espacial em 2D, podendo depois ser lidos através

de uma câmara CCD para produzir uma imagem. Existem também detectores constituídos por *microstrips* de silício, fibras ópticas cintiladoras e telhas cintiladoras de Bicron BCF. Todos estes detectores têm como objectivo medir a energia e a posição do protão e a intensidade do feixe de protões que sai depois de travessar o paciente. A investigação nesta área encontra-se ainda numa fase pioneira, sendo ainda necessário muito trabalho para o desenvolvimento de um detector capaz de criar imagens a partir do feixe de protões.

O FUTURO DA TERAPIA COM PROTÕES

A aplicação da física de aceleradores à terapia do cancro tem evoluído muito ao longo dos últimos 30 anos. Actualmente, qualquer vendedor pode desenvolver um acelerador de protões para a terapia do cancro, utilizando tecnologia facilmente acessível. Ao mesmo tempo, os modelos-padrão de ciclotrões e sincrotrões e os novos modelos com supercondutores, DWA ou lasers, e recentes avanços na imagiologia com protões permitem ter confiança num *boom* na terapia do cancro com protões. O grande benefício deste *boom* é o aumento da longevidade e da qualidade de vida dos doentes tratados com protões, devido à redução significativa da dose de radiação que os órgãos saudáveis recebem.

¹ em inglês no original; em português: poder de paragem. Mede a perda de energia por unidade de comprimento percorrido (N.E.)

Referências

- [1] R. R. Wilson, "Radiobiological use of fast protons", *Radiobiology* **47**, 487-491 (1946).
- [2] C. A. Tobias, J. H. Lawrence, J. L. Born, R. McCombs, J. E. Roberts, H. O. Anger, B. V. A. Low-Beer, C. Huggins, "Pituitary irradiation with high energy proton beams: a preliminary report." *Cancer Res.* **18** 121-134 (1958).
- [3] J. M. Sisterson, *Particles Newsletter* (2004). <http://ptcog.com>
- [4] T. F. Delaney, A. R. Smith, A. Lomax, J. Adams, J. S. Loeffler, "Proton beam radiation therapy", *Cancer Prin. Pract. Oncol.* **17**, 1-10 (2003).
- [5] V. Benk, N. J. Liebsch, J. E. Munzenrider,

- J. E. Fird, P. McManus, H. Suit, "Base of skull and cervical spine chordomas in children treated by high-dose irradiation", *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* **31**, 577-558 (1995).
- [6] A. E. Rosenberg, G. P. Nielsen, S. B. Keel, L. G. Renard, M. M. Fitzek, J. E. Munzenrider, N. J. Liebsch, "Chondrosarcoma of the base of the skull: a clinicopathologic study of 200 cases with emphasis on its distinction from chordoma", *Am. J. Surg. Pathol.* **32**, 1370-1378 (1999).
- [7] A. Thornton, M. Fitzek, M. Varvares, J. Adams, S. Rosenthal, S. Pollock, M. Jackson, B. Pilch, M. Joseph, "Accelerated hyperfractionated proton/photon irradiation for advanced paranasal sinus cancer", *Int.*

- J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* **42** Sup., 222 (1998).

- [8] D. C. Weber, A. V. Trofimov, T. F. Delaney, T. Bortfeld, "A treatment plan comparison of intensity modulated photon and proton therapy for paraspinal sarcomas", *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* **58**, 1596-1606 (2004).

João Seco completou a Licenciatura em Física na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, na área de Física Teórica. De seguida, rumou a Londres, Reino Unido, onde completou o doutoramento em Física Médica no Institute of Cancer Research, Universidade de Londres, na área de Física aplicada à Medicina e na vertente de optimização matemática. Foi "pós-doc" na Harvard Medical School, em Boston, Estados Unidos, onde actualmente reside. Actualmente é Professor Auxiliar em Radiação Oncológica pela Faculdade de Medicina da Universidade de Harvard.





A Física dos mercados financeiros

MARTA DANIELA SANTOS

QUE OS FÍSICOS SÃO CURIOSOS POR NATUREZA, JÁ TODA A GENTE SABE. NOS ÚLTIMOS TEMPOS, TÊM VINDO A “INVADIR” OUTRAS ÁREAS QUE NÃO A SUA, COMO A BIOLOGIA, A MEDICINA, OU AS CIÊNCIAS SOCIAIS, E COM A SUA FORMA DE PENSAR CONTRIBUÍRAM EM CADA UMA DELAS PARA O AUMENTO DO CONHECIMENTO. O QUE DIZER, NO ENTANTO, DO SEU SÚBITO INTERESSE PELA... ECONOMIA?

Na verdade, é fácil compreendê-lo: os conceitos hoje em dia aceitos em economia têm pouca ou nenhuma ligação concreta com a realidade, constituindo um desafio para os

físicos. Por um lado temos uma teoria que quase não é confrontada com os dados empíricos; por outro, a dinâmica dos mercados financeiros quase não faz referência à teoria. Há assim uma sensação de “distanciamento da realidade” – que melhor cenário para um físico? Numa visão simplista, a bolsa não é mais do que um sistema de muitas partículas a interagirem entre si (ainda que com as devidas reservas, já que estas “partículas” são seres humanos, compradores e vendedores, que pensam) – e o objectivo é compreender a evolução desse sistema, utilizando as ferramentas da física estatística.

Desengane-se à partida, no entanto, quem julgue que se pode com base nestes propósitos construir um modelo que permita prever ao detalhe o comportamento das bolsas – isso é simplesmente impossível, há demasiadas variáveis envolvidas. O propósito de qualquer modelo construído neste

contexto é o de nos permitir compreender algumas propriedades globais, e para isso temos de começar por simplificar (e muito) as hipóteses das quais partimos.

Vamos então supor o seguinte: temos N (ímpar) indivíduos, e a cada um deles é pedido que escolha entre um lado A ou um lado B (mais genericamente, uma escolha para a qual só existem duas possibilidades). Assumimos que todos decidem independentemente uns dos outros, sem comunicarem entre si. Depois de todos escolherem, aqueles que pertencem ao lado minoritário (aquele que foi escolhido por menos indivíduos) ganham 1 ponto, enquanto que os restantes não ganham nada.

Em que é que esta situação está relacionada com o modelo que queremos construir? Na verdade, o parágrafo anterior descreve o *Minority Game* (MG), um modelo introduzido pela primeira vez em 1997 por D. Challet e Y. Zhang, e que retrata num molde simplista tanto os mercados financeiros (onde é prejudicial se todos decidem comprar ou vender determinada acção ao mesmo tempo) como muitas situações do dia-a-dia: Em hora de ponta, tentamos perceber qual o percurso com maior trânsito e evitá-lo... Ao marcar férias para um certo destino, procuramos que seja numa altura em que não tenha demasiada gente...

O MG foi inspirado num problema antes proposto por W. Brian Arthur – o *El Farol Problem* – que parte de pressupostos muito semelhantes. Com este problema, W. Arthur mostrou que, ao contrário do raciocínio perfeito, lógico e dedutivo que se assume nas teorias económicas tradicionais, em situações onde não há informação suficiente disponível tem de se utilizar o raciocínio indutivo, que parte do particular para o geral. Ou seja, como não é possível prever o que vão fazer os outros jogadores (a palavra aplica-se de facto, já que se trata mesmo de um jogo), o melhor é escolher com base na experiência e aprender com os erros passados.

Voltemos então ao MG. As decisões são tomadas com base num conhecimento comum dos últimos resultados, mas apenas de qual o lado que ganhou, e não do número concreto de indivíduos que optou por cada um dos lados. Podemos assim adoptar uma representação binária, para facilitar: fixando-nos num determinado lado (A, por exemplo), 1 significa ser vencedor, e 0 significa o contrário. Supomos também que os jogadores têm memória limitada – conseguem apenas reter os últimos M resultados, e baseiam-se neles para fazer as suas escolhas. Definindo estratégia como a próxima acção a tomar dada uma sequência de M bits concluímos facilmente que para M bits conseguimos definir 2^M sequências distintas, e existem portanto

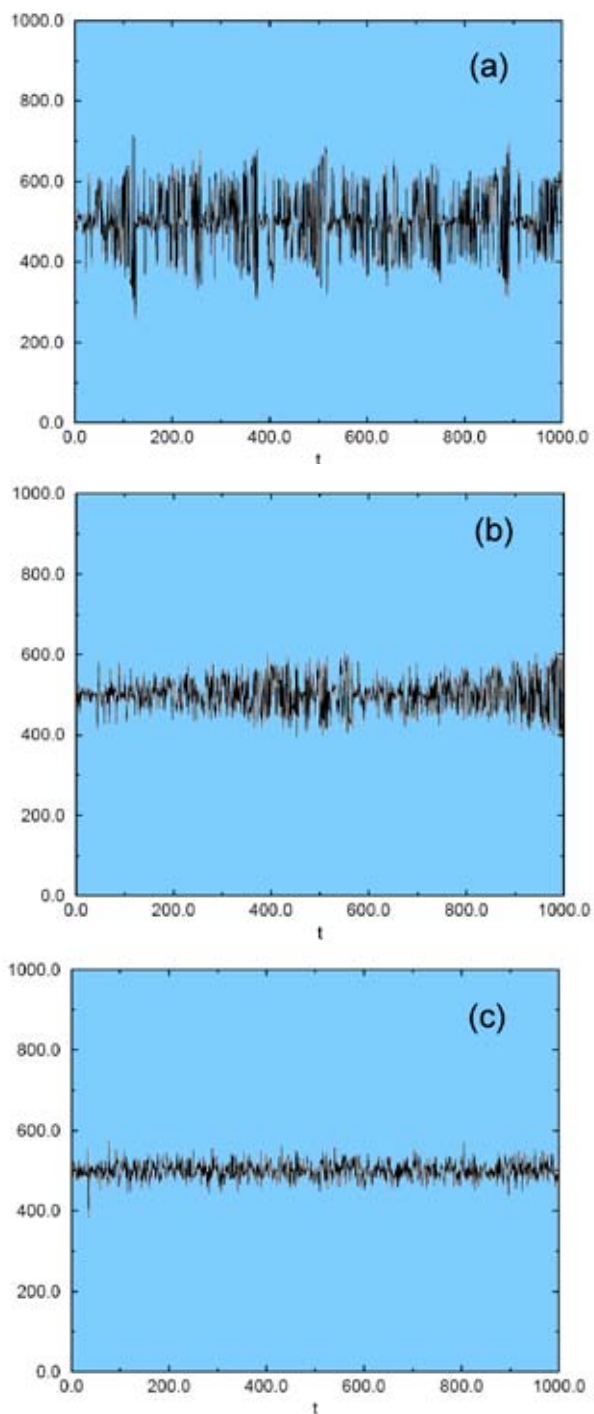


Figura 1 - Attendance number do lado A (número de indivíduos que escolhe o lado A) em função do número de iterações, para $N=1001$, com (a) $M=6$, (b) $M=8$, (c) $M=10$.

2^{2^M} estratégias possíveis no total. São seleccionadas, de forma aleatória e com reposição, S (dessas 2^{2^M}) para cada indivíduo, e a escolha de uma delas, a cada tomada de decisão, é feita com base num sistema de pontuação virtual: no final de cada iteração, cada jogador atribui 1 ponto (virtual) às estratégias que previram de forma correcta o resultado tendo em conta a sequência M , enquanto que as que falharam não recebem qualquer ponto. De notar que esta pontuação virtual é totalmente independente da pontuação real, consequência de se escolher o lado minoritário.

E o que é que D. Challet e Y. Zhang descobriram, partindo destas hipóteses? Vários resultados interessantes. Antes de mais, comecemos por notar algo “óbvio”: se apenas um indivíduo escolher o lado minoritário, apenas ele recebe 1 ponto, enquanto que o resto da população não recebe nada; se o número máximo possível de jogadores escolher esse lado minoritário (ou seja, $(N-1)/2$), são atribuídos $(N-1)/2$ pontos no total. Do ponto de vista do interesse da população como um todo, é muito mais vantajosa a segunda situação, pois os recursos disponíveis são aproveitados ao máximo – mas é também um caso que requer cooperação e organização entre os jogadores, algo que não está implícito no mecanismo e que portanto terá de surgir de forma espontânea caso venha a acontecer.

A COOPERAÇÃO SURGE ESPONTANEAMENTE

Olhando agora para os resultados da Fig. 1, vemos que por mais surpreendente que pareça é isso mesmo que acontece, não importa o valor de M - o número de jogadores que escolhem cada lado é sempre muito próximo do valor ideal, $(N-1)/2$. De alguma forma, surge espontaneamente cooperação e organização, apesar de os agentes estarem a jogar de forma independente entre si, de não haver qualquer comunicação entre eles. Este resultado já havia sido encontrado no *El Farol Problem*, e é um resultado robusto, que não depende do tipo de estratégias ou dos valores dos parâmetros. Além disso, vemos que a memória tem de facto influência – quanto maior é M , menores são as flutuações, o que significa que os recursos disponíveis são melhor explorados.

E S , será que tem influência? O que acontecerá se os jogadores tiverem agora ao seu dispor uma maior diversidade de estratégias, a partir das quais escolher? Esperaríamos provavelmente que fossem mais bem sucedidos, mas de facto sucede o contrário! Quanto maior é S , menor é a taxa de sucesso, como podemos ver na Fig. 2. O que acontece é que os indivíduos mudam mais frequentemente de estratégia, tendo em conta a pontuação virtual, o que acaba por ser prejudicial, pois nesse momento essa estratégia pode “parecer” melhor que as outras mas depois acaba por se revelar pior.

Estes são apenas alguns dos muitos resultados curiosos que foram obtidos logo com a versão original do MG. A partir daqui podem ser introduzidas inúmeras modificações e/ou extensões (sendo uma das mais interessantes a

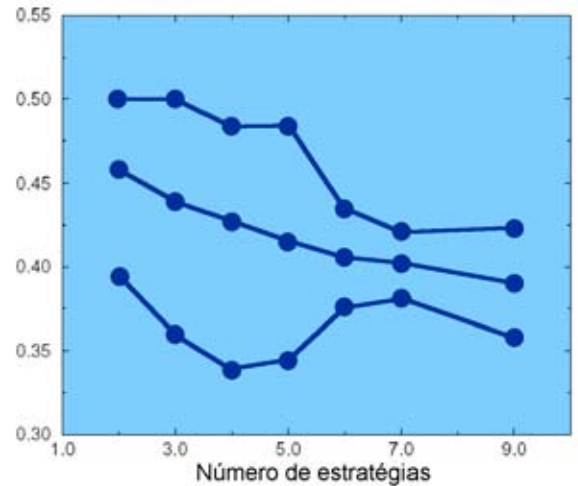


Figura 2 - Taxa de sucesso em função do número de estratégias S , para $N=1001$, $M=5$.

da evolução de Darwin aplicada a este contexto), que trazem consigo também um sem-número de surpresas. Até à data, já foram publicadas centenas e centenas de artigos sobre o MG, não estando o conhecimento sobre ele de forma alguma esgotado. Apesar de o estudo do MG ter começado computacionalmente, observando e interpretando simulações, não tardou muito a que começasse a ser explorado também do ponto de vista analítico, estudando parâmetros, regimes e transições de fase. Na verdade, o conhecimento que agora temos sobre ele é tão sólido que é agora utilizado para fazer novas descobertas noutras áreas, como por exemplo a da psicologia e do comportamento humano, sendo para esse efeito jogado por seres humanos, em condições controladas, e não apenas simulado num computador!

Mais uma vez, se vê a magia da física em acção – como a partir de hipóteses tão simples que quase parecem absurdas, conseguimos obter resultados muito interessantes. Além disso, começamos um ciclo que nunca termina: ao responder a uma questão, logo outras se levantam.

Referências:

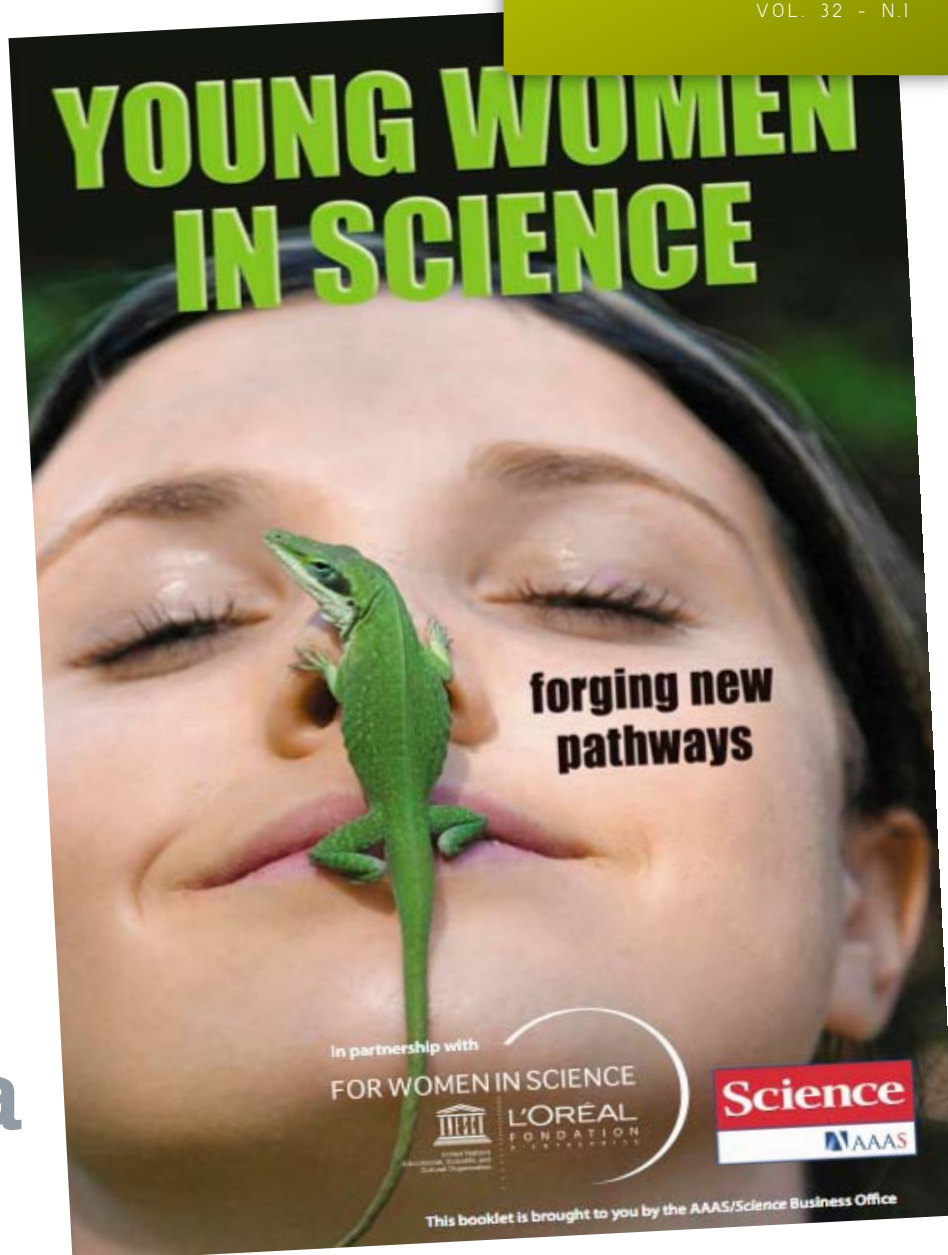
- D. Challet e Y.-C. Zhang, “Emergence of cooperation and organization in an evolutionary game”, *Physica A* 246, 407 (1997).
- W. Brian Arthur, “Inductive reasoning and bounded rationality (The El Farol Problem)”, *Am. Econ. Assoc. Papers & Proc.* 84, 406 (1994).
- <http://www.unifr.ch/econophysics/minority/> - este site constitui uma enorme base de dados sobre tudo aquilo que tem vindo a ser feito sobre o MG. Inclusivamente, dispõe de um link para o Interactive Minority Game, que permite a qualquer pessoa encarnar a pele de um accionista e entrar ela própria na dinâmica da tomada de decisões (sem qualquer dinheiro real envolvido, claro está...).

O outro Gênero (ou Gênio?) na ciência

TERESA PEÑA

Em Janeiro deste ano, a descoberta da fissão nuclear fez 70 anos. Quando Lise Meitner – que explicou o fenômeno e, com Otto Hahn, criou o laboratório onde se fez a descoberta – quis estudar física, o pai, advogado vienense e homem de ideias avançadas, não a impediu. Mas, cauteloso e pragmático, bem na vida mas pai de oito filhos, impôs que estudasse primeiro francês (tocar piano já sabia) e obtivesse um diploma de professora para assegurar a independência. Só depois permitiu que frequentasse as aulas no pequeno edifício de física da Universidade de Viena.

Em Março, celebrou-se, como tem vindo a ser hábito, o dia internacional da mulher. A revista Science,



em parceria com a Fundação L'Oréal e a UNESCO, editou um livrinho com 19 depoimentos de jovens mulheres na área das ciências da vida, da química, da ecologia e da medicina. O slogan da publicação, "O mundo precisa de ciência. A ciência precisa de mulheres" junta dois dos muitos corolários do imperativo de não podermos dar-nos ao luxo de desperdiçar talento. As mulheres que depõem nesse livrinho têm origens e vidas bem diferentes. Em comum têm todas uma bolsa da Fundação L'Oréal. E não só: as suas concretizações e possibilidades têm, na árvore da história, uma raiz comum. Uma raiz onde está Lise Meitner, que foi física, e que corresponde ao acesso das mulheres à universidade. Processo que tem escassos (à escala da História humana) 100 anos, tendo o sistema universitário cerca de 600.

Aos vinte anos, Lise Meitner vivia na efervescente Viena de

Isabel Gordo

SÓ HÁ DUAS CIÊNCIAS: A FÍSICA E A BIOLOGIA.

A característica que melhor me define é a curiosidade. Desde muito cedo que me apercebi que a única profissão que me impediria de me sentir permanentemente aborrecida seria a de cientista. E, assim sendo, o percurso da minha vida tem sido na interface entre as duas.

A área específica em que trabalho é Genética Evolutiva, onde as perguntas fundamentais mais antigas em Biologia continuam em investigação. É uma área intensamente carregada de teorias, onde muitas das ferramentas da Física são frequentemente aplicadas. Por exemplo, a equação de Fokker-Planck para descrever movimento Browniano também se usa para descrever a distribuição de frequências de genes em populações biológicas. Um dos primeiros resultados da minha investigação, durante o meu doutoramento, cujo objectivo era saber a que velocidade os genes do cromossoma Y perdem funções, recorreu precisamente à utilização dessa equação. Lembro-me de, nesse tempo, pensar nas palavras de um professor de física do estado sólido: frequentemente, na resolução dum problema ou aparece o oscilador harmónico ou uma expansão de Taylor. Para o caso de comparar o percurso evolutivo do cromossoma Y dos mamíferos com o das moscas, Fokker-Planck e expansão de Taylor certamente ajudaram.

O resultado que mais me marcou na minha investigação até hoje resultou de uma experiência que mostrou uma rapidez alucinante de adaptação dos microorganismos a novos ambientes. A análise dos dados que reflectem a dinâmica de adaptação (aumento de *fitness* de uma população) deixou-me estupefacta, face à observação directa da estocasticidade do processo mutacional e do determinismo do processo de selecção natural.

A relação entre sistemas biológicos com populações a moverem-se num relevo de *fitness* para atingir um máximo, e sistemas físicos onde a energia se minimiza, que tem emergido na literatura, fascina-me – embora ainda não me tenha convencido.



Isabel Gordo é licenciada em Eng. Física Tecnológica pelo Instituto Superior Técnico (1997), e obteve o Doutoramento em Biologia - Genética de Populações pela Universidade de Edimburgo, Reino Unido (2001). Actualmente é Investigadora Principal no Laboratório Associado ITQB/IGC/IBET, onde se dedica ao estudo de Biologia Evolucionária e Genética de Populações.



Lise Meitner

tocou especialmente, com o seu brilho como professor, e a profundidade da inquietude intelectual.

Na Áustria só em 1899 (o ano em que Meitner entrou na Universidade) foi permitido às mulheres inscreverem-se e frequentar as aulas, sem ser em regime de tutorado privado. Na Alemanha teria ainda de esperar-se dez anos. Em 1906 Lise Meitner foi a segunda mulher – mas a primeira do império austro-húngaro – a doutorar-se em física. Em 1907, desejando mais, e depois de Boltzmann ter morrido, Meitner deixou Viena por Berlim. Não sabia ainda, mas não voltaria a viver na Áustria. Levou consigo a formação experimental rigorosa da então escola de Viena. E a leveza da bagagem da curiosidade, espicaçada pela polémica das ideias atomistas de Boltzmann, e as primeiras notícias dos trabalhos de Rutherford em Cambridge, sobre a dispersão de partículas alfa em átomos de ouro. O “pós-doutoramento” em Berlim, como diríamos hoje, foi ainda totalmente financiado pelo pai. Só em 1909 lhe foi atribuída uma pequena bolsa pela Universidade

fin-de-siècle. Através da arte e da literatura, respirava-se o culto de um novo valor feminino: o cruzamento da passividade da beleza física com a ebulição e a irreverência da beleza intelectual. Lise Meitner era pequenina e franzininha. Mas tinha a elegância, intensidade e determinação desse novo feminino. Ainda que escondidas na calma do gesto e na postura serena. Ao mesmo tempo, generalizava-se na sociedade o interesse pela ciência, da psicanálise de Freud aos raios-X de Roentgen. Nos cafés de Viena, à música e às discussões sobre a ópera, juntavam-se as discussões sobre ciência.

O curso de professora e um ano de ensino numa escola de raparigas de Viena não impediram Lise Meitner de ser a primeira mulher a frequentar as aulas de Boltzmann. Que a

Marta Daniela Santos

ficar em Portugal foi uma decisão difícil mas não me arrependo



Desde pequena que disse que queria “ser cientista” – em particular, a paixão pela Física começou ainda na primária. A partir daí, mantive a minha convicção de querer seguir este caminho, e até hoje não estou arrependida, nem penso vir a arrepender-me nunca. Na verdade, não me vejo a fazer qualquer outra coisa na vida.

Sou estudante de doutoramento (1º ano), na área de Teoria de Jogos – mais concretamente, estudo Jogos de Bem Público e a Evolução da Cooperação. O meu primeiro (e até ao momento, único) artigo, nesta área, escrito em colaboração com Jorge Pacheco e Francisco Santos, foi o que mais me marcou, por todas as razões: por estar no momento da obtenção dos primeiros resultados ainda no 3º ano de Licenciatura; pela sensação de estar a olhar para algo nunca antes observado; e, *last but not least*, por ter sido publicado na *Nature*, claro está... Cabe-me agora continuar a trabalhar para obter mais resultados.

Curioso é o facto de eu ter vindo para o curso de Física movida, sobretudo, pela minha paixão pela Cosmologia – ainda me recordo como se fosse ontem do momento em que aprendemos os planetas do Sistema Solar, na primária – e agora estar a fazer investigação numa área tão diferente. E esta mudança de 180º apenas se deu a meio do último ano do curso: já tinha respostas positivas de Cambridge e do Imperial College para um doutoramento em Cosmologia, bolsa garantida inclusivé, quando o meu actual orientador me propõe ficar cá em Portugal, numa linha de trabalhos que, de certa forma, prolonga o nosso artigo... Posso dizer que foi a decisão mais difícil que tive de tomar até hoje, como se compreenderá, mas no final decidi ficar em Portugal e não me arrependo. Esta é (mais) uma prova de que um curso superior nos alarga os horizontes e pode conduzir a caminhos inesperados!

tner, mesmo com o casulo da timidez (teria podido não ser tímida?) ficou na história das pioneiras. Reciprocamente, o mundo, ou pelo menos parte dele, parece já não ter medo das mulheres. E espera mesmo muito delas, como se vê pela Fundação L’Oréal e a UNESCO. Deste modo vão-se enterrando, devagarinho (não será melhor apressar?), os tempos de Virginia Woolf e de antes dela: “Alas! A woman that attempts the pen, (...) The fault can by no virtue be redeemed. They tell us we mistake our sex and way”.²

Marta Daniela Santos concluiu em 2008 a Licenciatura de 4 anos de Física pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, e é agora estudante de doutoramento na área de Teoria de Jogos no Complexo Interdisciplinar da UL. Já recebeu várias distinções por mérito académico, nacionais e estrangeiras, e participou em diversas conferências internacionais.

de Berlim. E quando chegou em 1907, apenas lhe deram acesso, e com relutância, a umas instalações na cave, e bem longe dos laboratórios dos seus colegas masculinos. Aí fez um laboratório. Só em 1909, com a legislação sobre mulheres na universidades, obteve a autorização para usar os laboratórios do Instituto de Química. E o primeiro salário correspondente a uma posição em Berlim a tempo inteiro, foi-lhe atribuído sete anos depois de ter chegado. O físico Planck, pai de duas filhas, tinha então finalmente decidido compensar nessa altura o trabalho e competência de Meitner.

A conferência inaugural de Meitner como profesora em Berlim ocorreu em 1922. A conferência tinha o título “O significado da radioactividade nos processos cósmicos”. Mas o gabinete académico anunciou-a nos media como sendo sobre o significado da radioactividade para os “processos cosmológicos”. Como na altura ainda não existiam bolsas ou prémios da Fundação L’Oréal, o erro, certamente não teria existido, ou pelo menos teria sido outro, se o orador fosse homem. A fronteira de géneros era a que Virginia Woolf descreveu tão bem. Por exemplo, no comentário ao poema cristalino de Lady Winchilsea (século XVII):

“Good breeding, fashion, dancing, play,
Are the accomplishments we should desire;
To write, or read, or think, or to enquire,
Would cloud our beauty and exhaust our time”¹

Lise Meitner escreveu romanticamente nos primeiros anos que viveu em Berlim: “Gosto de física com todo o meu coração. Dificilmente consigo imaginar a minha vida sem a física.” Esta mesma sensação está repetida, 100 anos depois, de formas diversas, nos depoimentos da publicação da Science, e também das duas jovens físicas portuguesas que apresentamos na Gazeta de Física.

As mulheres já não têm medo do mundo. Lise Mei-

¹ “Boas maneiras, modas, danças e lazeres, eis os dotes a que devemos aspirar; ler, ou escrever, ou pensar, ou interrogar, só nos toldam a beleza e desperdiçam o tempo.” (V. Woolf, “A room of one’s own”)

² “Ai da mulher que tenta a caneta! (...) Não há virtude que redima tal defeito. Que apontam impróprio do sexo e conduta.” (idem, ibidem)



Reactores nucleares de cisão: presente e futuro

J.G. MARQUES E N.P. BARRADAS
INSTITUTO TECNOLÓGICO E NUCLEAR^a

A NECESSIDADE INEGÁVEL DE REDUZIR AS EMISSÕES DE CO₂, BEM COMO DE DIMINUIR A DEPENDÊNCIA DOS COMBUSTÍVEIS FÓSSEIS TEM LEVADO A UM INTERESSE RENOVADO DE DIVERSOS PAÍSES PELA ENERGIA NUCLEAR. A ENERGIA NUCLEAR BASEIA-SE EM TECNOLOGIAS MADURAS, E TEM BENEFICIADO DE UMA EVOLUÇÃO TECNOLÓGICA QUE TEM ACOMPANHADO AS NOVAS EXIGÊNCIAS ECONÓMICAS, ECOLÓGICAS, E DE SEGURANÇA.

Neste trabalho dar-se-á uma breve panorâmica do estado dos recursos uraníferos e das tecnologias futuras de reactores nucleares de cisão, tendo em mente os pilares do desenvolvimento sustentável.

A ENERGIA NUCLEAR HOJE

Einstein mostrou em 1905 a equivalência dos conceitos de massa e energia [1]. Em particular, quando massa desaparece, energia é libertada. Como é que se consegue, na

prática, efectuar esta conversão? Verifica-se que a massa de um núcleo estável é menor que a soma das massas dos seus prótons e neutrões constituintes. A diferença de massa é a energia de ligação do núcleo, tanto maior quanto mais estável o núcleo. Assim, se numa reacção nuclear, o estado final for mais estável do que o inicial, a massa final é menor, e a diferença, que estava armazenada sob a forma de energia de ligação, liberta-se. É o que se passa tanto na cisão de um núcleo pesado como o urânio-

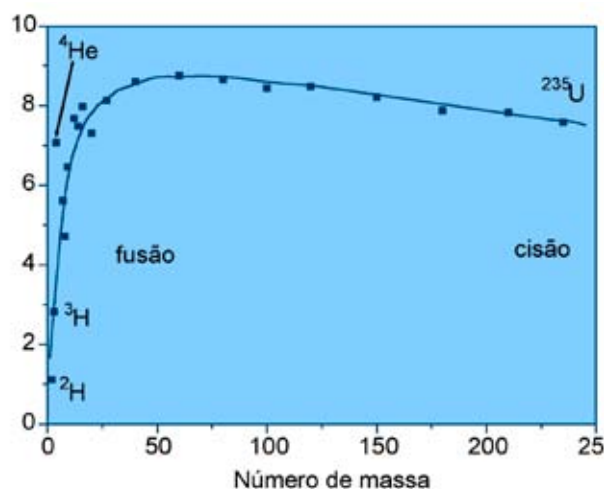


Figura 1: Energia de ligação por nucleão para alguns núcleos seleccionados.

^aEstrada Nacional 10
2686-953 Sacavém

235, como na fusão de dois núcleos de hidrogénio. Como vemos na Figura 1, a energia de ligação (por nucleão) do urânio-235 é menor do que a energia de ligação dos núcleos com sensivelmente metade da sua massa (números de massa tipicamente entre 80 e 160). É essa diferença que se liberta na cisão do urânio-235.

Nos reactores nucleares aproveita-se a energia libertada na cisão de núcleos de urânio-235, cerca de 200 MeV por cisão, ou 50 milhões de vezes mais energia do que a libertada com a formação de uma molécula de CO² na combustão. Visto de outro ponto de vista, é necessária a combustão de 18 t de hulha para libertar o mesmo calor que o obtido com a cisão do urânio-235 existente em 1 kg de urânio natural [2].

A energia nuclear encontra aplicações à escala industrial actualmente apenas com base na cisão, dado que a fusão não atingiu ainda este estágio de desenvolvimento. No início de 2008 estavam em funcionamento 346 reactores nucleares nos países da OCDE e estavam em construção 14 novos reactores, dos quais 4 na Europa.

A energia nuclear tem hoje um peso inegável na produção de electricidade. A potência instalada em reactores nucleares de países da OCDE em 2007 era de 310 GW, tendo sido gerados 2173 TWh por

esta via [3]. A produção total de electricidade nos países da OCDE em 2007 foi de 10081 TWh, o que significa que a energia nuclear teve um peso de 22%. O peso a nível mundial é ligeiramente menor, aproximadamente 15%, comparável à produção de electricidade por via hídrica ou usando gás, como se pode ver na Figura 2 [4].

As necessidades inegáveis de reduzir as emissões de CO₂; diminuir a dependência dos combustíveis fósseis e aumentar a diversificação das fontes de energia primária têm levado a um interesse renovado de diversos países pela energia nuclear. Neste trabalho dar-se-á uma breve panorâmica do estado dos recursos uraníferos e das tecnologias futuras de reactores nucleares de cisão, tendo em mente os pilares do desenvolvimento sustentável.

RECURSOS URANÍFEROS

O urânio é um metal aproximadamente tão comum como o estanho e o zinco. A sua concentração média na crosta terrestre é de 2,8 ppm e no mar de 0,003 ppm. A Agência de Energia Nuclear da OCDE (AEN) e a Agência Internacional de Energia Atómica (AIEA) publicam há mais de 40 anos o chamado “Livro Vermelho” com dados sobre recursos uraníferos na OCDE e no resto do Mundo [5]. Os recursos uraníferos razoavelmente assegurados, com custos inferiores a 130 USD/kg U, são de 5.5×10^9 kg. Cerca de 54% destes recursos têm custos inferiores a 40 USD/kg U, 14% têm custos entre 40 a 80 USD/kg U, e os remanescentes 32% têm custos entre 80 a 130 USD/kg U. Os cinco países com maiores recursos uraníferos são a Austrália (24%), o Casaquistão (17%), o Canadá (9%), os Estados Unidos da América (7%) e o Brasil (6%), o que mostra bem a grande diversidade geopolítica destes recursos.

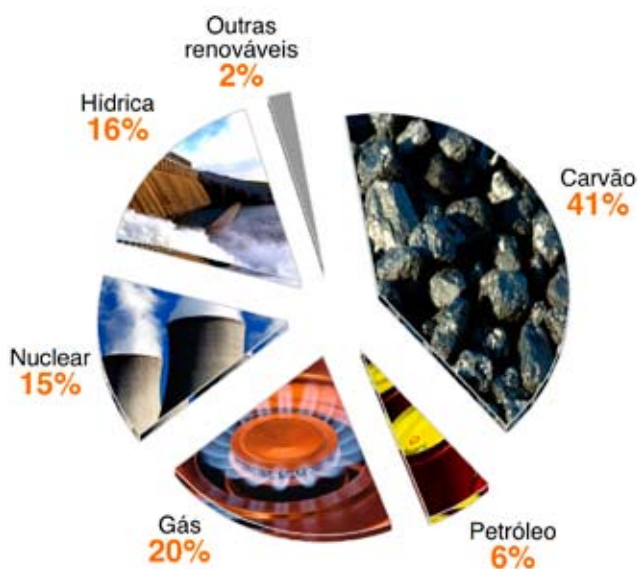


Figura 2: Produção de energia eléctrica a nível mundial.

A procura de U nos últimos anos tem sido de aproximadamente $5,5 \times 10^7$ kg por ano. Se tomarmos este valor como referência, os recursos razoavelmente assegurados seriam suficientes para cerca de 100 anos de operação de reactores de cisão, aos níveis actuais. Aos recursos acima indicados há que juntar 10^{10} kg de recursos não descobertos, mas que se supõe existirem, com base no conhecimento existente [5], o que conduziria a um período de exploração da ordem de 250 anos. A introdução de reactores de cisão usando neutrões rápidos pode multiplicar esta estimativa pelo menos uma ordem de grandeza. Os reactores a neutrões rápidos, ditos reactores sobreconversores, transformam um material fértil (urânio-238) em material cindível (plutónio-239), de tal modo que o número de núcleos cindíveis formados é superior ao número de núcleos (de urânio-235) destruídos, o que permite obter mais energia do que num reactor convencional [6].

Para além dos recursos convencionais, há ainda a considerar a obtenção de urânio a partir de fosfatos, em que o urânio é um produto derivado da produção de ácido fosfórico. Esta é uma tecnologia madura, já usada no passado na Bélgica e nos EUA. Estima-se que possam ser obtidos 2×10^{10} kg de U a partir desta fonte.

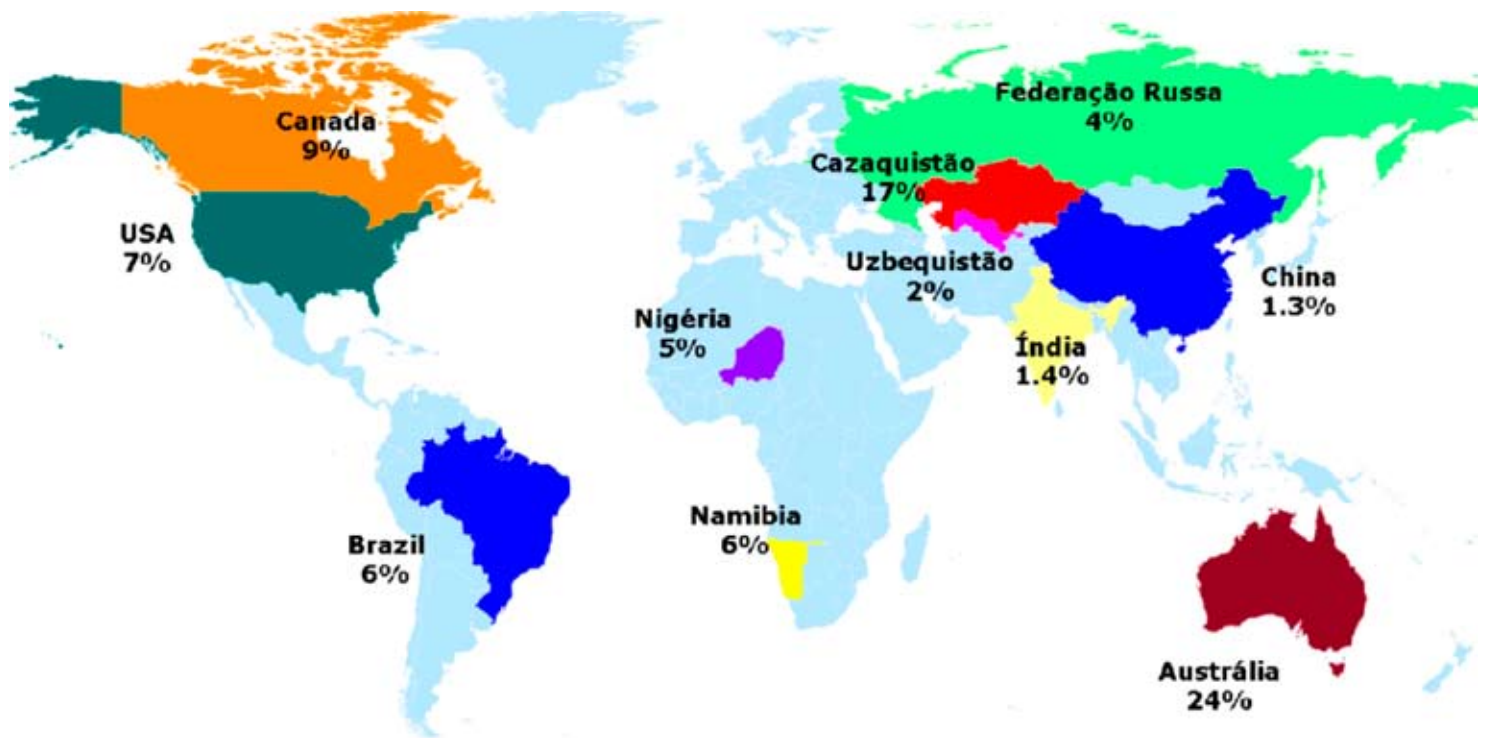


Figura 3: Distribuição geográfica dos recursos uraníferos.

OS REACTORES DE 3ª E 4ª GERAÇÃO

A maioria dos reactores actualmente em exploração são da chamada “2ª Geração”, que caracteriza genericamente os reactores que começaram a ser instalados na transição das décadas de 60 para 70.

Na última década começaram a ser instalados alguns dos reactores da “3ª Geração”:

- “Advanced Boiling Water Reactor” (ABWR) de 1,3 GWe, desenvolvido pela General Electric (EUA), Hitachi e Toshiba (Japão), em exploração no Japão desde 1996.
- EPR de 1,6 GWe, desenvolvido pela Framatome ANP (França e Alemanha), actualmente em construção na Finlândia.
- “Advanced Pressurized Water Reactor” (AP-600) de 0,6 GWe, desenvolvido pela Westinghouse (EUA).

O EPR resulta da experiência francesa e alemã com os reactores a água pressurizada dos tipos “N4” e “Konvoi”, respectivamente. Em relação a estes reactores, o EPR tem uma barreira de protecção adicional, que se destina a recolher no interior do próprio edifício um núcleo hipoteticamente danificado num acidente grave [7], reduzindo assim cerca de 100 vezes a probabilidade de se registarem libertações radioactivas para o exterior em caso de acidente. Esta barreira surge como resposta a uma exigência das autoridades francesas de garantir que com os novos reactores não seja necessária a evacuação dos habitantes na vizinhança do reactor, mesmo no cenário do acidente mais grave.

Os reactores da 3ª geração vão dominar o mercado de novos reactores nas próximas 2 ou 3 décadas. Trabalha-se entretanto já na 4ª geração. Em 2002 foi fundado o consórcio “Generation IV Forum” (GIF), que agrupou inicialmente

10 países: Argentina, Brasil, Canadá, França, Japão, Coreia, África do Sul, Suíça, Reino Unido, e EUA. A Comunidade Europeia de Energia Atómica (EURATOM), a China e a Rússia aderiram ao GIF em 2006. O GIF publicou no fim de 2002 um relatório “A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems” [8]. Este documento descreve o esforço de I&D necessário para desenvolver 6 sistemas seleccionados. Estima-se que os reactores desta família estejam disponíveis a partir de 2030. Com os reactores da 4ª Geração esperam-se progressos significativos em

- Economia (risco financeiro comparável com outras formas de produção de electricidade, custo ao longo da sua vida operacional claramente vantajoso).
- Segurança e fiabilidade (aumento de seguranças passivas, redução significativa da probabilidade de acidentes envolvendo o núcleo do reactor).
- Sustentabilidade (utilização eficiente de recursos naturais, redução significativa dos resíduos produzidos).
- Segurança física e não-proliferação (melhoramento de mecanismos tendentes a evitar quaisquer desvio de materiais para outras aplicações, melhoramento na protecção física a hipotéticos actos de terrorismo).

No leque dos seis projectos em estudo, para além da produção de electricidade, são igualmente previstas outras aplicações, das quais se destaca:

- Produção de hidrogénio a altas temperaturas (800 – 1000°C) – estima-se que o custo de produção de hidrogénio possa ser 1.5 – 2 USD/kg [9] através

do ciclo iodo-enxofre acoplado a um reactor a alta temperatura [10].

- Dessalinização de água do mar – a dessalinização de água do mar já é essencial em alguns países, existindo diversos sistemas acoplados a reactores nucleares desde há diversas décadas [9]. A AIEA tem desde 1999 um projecto sobre esta temática [11]. Espera-se que venham a ser implementados novos sistemas de dessalinização acoplados a alguns dos reactores da 4ª Geração que permitam baixar significativamente os custos.

- Melhor gestão de plutónio e actínidos – os reactores a neutrões rápidos permitem “queimar” plutónio e actínidos, o que permite reduzir, pelo menos uma ordem de grandeza, o tempo necessário para que os resíduos de alta actividade a armazenar em depósito geológico tenham uma radio-toxicidade comparável à do urânio natural [9].

O conceito de reactor da 4ª Geração que está mais avançado é o do reactor de muito-alta temperatura, com diversos projectos activos, entre os quais o PBMR na África do Sul [12] e o RAPHAEL na União Europeia [13]. A Figura 4 ilustra o conceito geral deste reactor, moderado a grafite e arrefecido a hélio, com uma potência prevista de 600 MW. O vaso de pressão deste reactor é cerca de 2 vezes maior que o vaso de pressão de um reactor a água pressurizada actual. Está igualmente representada uma instalação para produção de hidrogénio, usan-

do o calor libertado pelo reactor, cujos únicos produtos são hidrogénio e e oxigénio. Há uma larga experiência neste tipo de reactores, embora operando a temperaturas mais baixas. É assim necessário qualificar alguns materiais estruturais de modo a atingir as condições de operação pretendidas [14].

DESAFIOS NUMA PERSPECTIVA DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Ao longo dos últimos 20 anos tornou-se progressivamente claro que o modelo actual de desenvolvimento não é sustentável. A energia nuclear tem condições para responder aos desafios colocados, nos planos económico, ambiental e social.

A AEN publica regularmente estudos sobre os custos de produção de electricidade. A edição mais recente, de 2005, analisa 130 projectos em 21 países, usando métodos de cálculo comuns [15]. Considerando apenas os projectos entre os percentis 5 e 95%, os custos de produção de electricidade em 2005 eram:

- 22-48 USD/MWh para centrais a carvão;
- 39-56 USD/MWh para centrais a gas;
- 23-36 USD/MWh para centrais nucleares.

Os valores coligidos pela AEN mostram que a energia nuclear é economicamente competitiva. Os preços acima não incluem quaisquer penalizações por emissão de CO₂, as quais, quando forem aplicadas, aumentarão claramente a vantagem da via nuclear.

Por outro lado, a estrutura de preços mostra que o com-

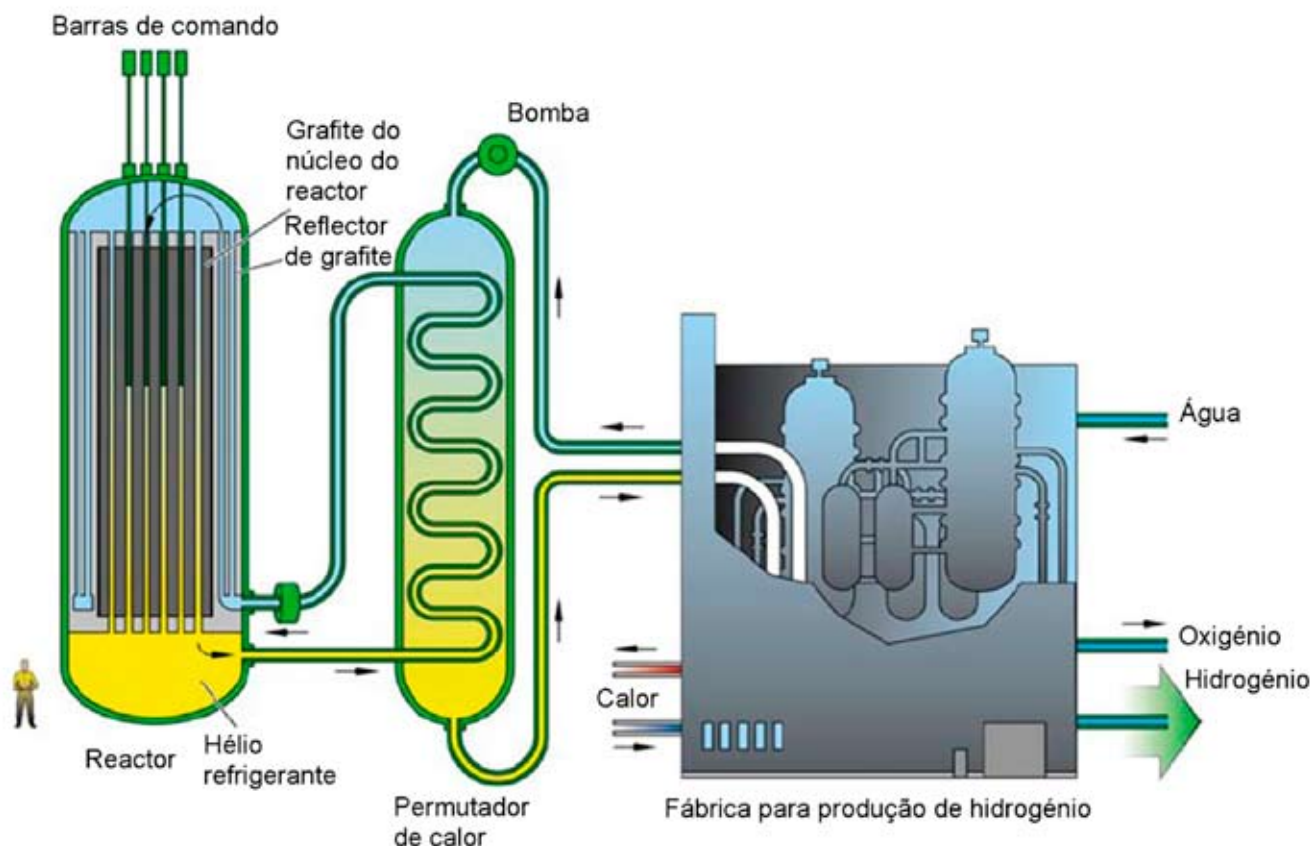


Figura 4: Representação esquemática do conceito de reactor de muito alta temperatura da 4ª Geração. O vaso de pressão deste reactor é cerca de 2 vezes maior que o vaso de pressão de um reactor a água pressurizada actual. É igualmente representada uma instalação para produção de hidrogénio.

bustível representa apenas 17% do preço total de produção em centrais nucleares, enquanto que representa 46% no caso das centrais a carvão e 79% no caso das centrais a gás. Assim, uma duplicação do custo do gás representa um aumento de 75% no custo do kWh numa central a gás, enquanto que um aumento correspondente no preço do urânio leva a um aumento inferior a 5% num reactor nuclear. Em termos ambientais, durante o funcionamento dos reactores nucleares não são emitidos gases com efeito de estufa (GEE). Contudo, se considerarmos que é necessária energia primária para os processos de construção e desmantelamento dos reactores, extracção e purificação de minério, enriquecimento do urânio e fabrico dos elementos de combustível, é possível calcular uma emissão de GEE para a energia nuclear, no intervalo 2,5-5,7 g C/kWh (equivalente CO₂). O intervalo reflecte variações e incertezas ao longo da cadeia. Este valor é comparável ao correspondente para a energia eólica, 2,5-13,1 g C/kWh, sendo significativamente inferior aos obtidos com combustíveis fósseis, como o gás, 105-188 g C/kWh, ou o carvão, 206-357 g C/kWh (valores da AEN).

As emissões de CO₂ a nível mundial foram de 24102 Mt em 2002. Sem a contribuição da energia nuclear na geração de energia eléctrica teriam sido 26384 Mt, isto é, cerca de 10% mais elevadas. A energia nuclear, por si só, não reduz drasticamente as emissões totais de CO₂, dado que não tem impacto directo, por exemplo, no sector dos transportes, mas tem uma contribuição significativa, no sentido preconizado pelas mais recentes políticas ambientais. A possibilidade de produzir hidrogénio a preços competitivos e com emissões de CO₂ muito reduzidas abre a possibilidade da energia nuclear passar a ter um papel significativo no sector dos transportes, onde o vector hidrogénio terá o seu maior impacto.

Em termos sociais, a indústria nuclear é uma indústria com grande peso tecnológico, que necessita de recursos humanos altamente qualificados. É uma indústria fortemente regulada, sujeita a acordos internacionais à escala Europeia e Mundial, a diversos níveis. Permite reduzir efectivamente a dependência externa de combustíveis fósseis. A obtenção de elementos de combustível requer o acesso não só a urânio, mas igualmente a processos para o seu enriquecimento, já que a esmagadora maioria dos reactores usa urânio ligeiramente enriquecido no isótopo urânio-235. Há uma grande diversidade de países com recursos uraníferos, para obtenção da matéria de base para o combustível; por outro lado, há capacidade suficiente de enriquecimento de urânio e fabrico de elementos de combustível, a nível comercial em muitos países, pelo que a obtenção de elementos de combustível não constitui objectivamente uma dependência do exterior.

Os recursos uraníferos são abundantes, seguros, e podem aumentar de maneira sustentada. Os reactores nucleares actuais são economicamente competitivos e contribuem decisivamente para a redução da dependência de combustíveis fósseis e para a necessária redução de emissões de GEE. Os reactores da 4ª Geração, a instalar dentro de 25 anos, permitirão uma melhor utilização dos recursos naturais e terão uma significativa redução dos resíduos produzidos, permitindo assim responder aos desafios das próximas décadas.

Referências

- [1] A. Einstein, "Ist die Trägheit eines Körpers von seinem Energieinhalt abhängig?", *Annalen der Physik* 18 (1905) 639-641.
 [2] K. Heinloth, "Energie und Umwelt", B.G. Steubner (Estugarda, 1993).
 [3] "Nuclear Energy Data 2008", OCDE-Nuclear Energy Agency (Paris, 2008).
 [4] "Key World Energy Statistics 2008", OCDE- International Energy Agency (Paris, 2008).
 [5] "Uranium 2007: Resources, Production and Demand", OCDE-Nuclear Energy Agency (Paris, 2008).
 [6] E. Martinho, J.C. Oliveira, "Reactores Nucleares de Cisão", LNETI (Sacavém, 1980).
 [7] M. Fischer, "The severe accident mitigation concept and the design measures for

- core melt retention of the European Pressurized Reactor (EPR)", *Nuclear Engineering and Design* 230 (2004) 169-180.
 [8] "Generation IV Technology Roadmap", disponível em <http://gif.inel.gov/roadmap/>.
 [9] I. Hore-Lacy, "Nuclear Energy in the 21st Century", World Nuclear University Press, Londres, e Elsevier Inc. (Burlington, 2006).
 [10] X. Vitart, A. Le Duigou, P. Carles, "Hydrogen production using the sulfur-iodine cycle coupled to a VHTR: An overview", *Energy Conversion and Management* 47 (2006) 2740-2747.
 [11] "Integrated Nuclear Power and Desalination System Design", AIEA, Viena, <http://www.iaea.org/programmes/ne/nenp/nptds/newweb2001/projects/2dcrp.htm>.
 [12] Pebble Bed Modular Reactor (Pty) Limi-

- ted, <http://www.pbmr.co.za/>
 [13] "ReActor for Process heat, Hydrogen And Electricity generation (RAPHAEL)", <http://www.raphael-project.org>.
 [14] K.L. Murty, I. Charit, "Structural materials for Gen-IV nuclear reactors: Challenges and opportunities", *Journal of Nuclear Materials* 383 (2008) 189-195.
 [15] "Projected Costs of Generating Electricity - 2005 Update", OCDE-Nuclear Energy Agency (Paris, 2005).
 J. Radiat. Oncol. Biol. Phys. 42 Sup., 222 (1998).
 [8] D. C. Weber, A. V. Trofimov, T. F. Delaney, T. Bortfeld, "A treatment plan comparison of intensity modulated photon and proton therapy for paraspinal sarcomas", *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.* 58, 1596-1606 (2004).

O ITER no caminho para a energia de Fusão Nuclear

CARLOS VARANDAS

Associação EURATOM/IST, Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear
Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa

O ITER (O “CAMINHO” EM LATIM) É UM DISPOSITIVO EXPERIMENTAL, DE GRANDE ESCALA, MUITO IMPORTANTE PARA A CONCRETIZAÇÃO DA FUSÃO NUCLEAR COMO UMA TECNOLOGIA ENERGÉTICA INDISPENSÁVEL PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTADO DA NOSSA SOCIEDADE.

Este trabalho descreve os passos previstos, no contexto de uma colaboração internacional de dimensão global, até à construção de uma central eléctrica de fusão nuclear. Esta central será, certamente,

uma das grandes conquistas da Ciência e Tecnologia deste século.

O que já se consegue hoje na produção de energia por fusão nuclear controlada?

Após muito trabalho de investigação científica e desenvolvimento tecnológico, o TFTR [1] e o JET [2] conseguiram obter num laboratório reacções controladas de fusão nuclear, através da operação destes tokamaks com misturas de Deutério (D) e Trítio (T) [3] (Fig. 1). O JET, a maior experiência de fusão nuclear actualmente em funcionamento no mundo e a única que pode operar com descargas D-T, é actualmente explorado no âmbito do European Fusion Development Agreement (EFDA) [4] (Fig. 2). Este tokamak obteve 16 MW de potência de fusão, durante 2 segundos, utilizando cerca de 25 MW para manter o plasma às temperaturas necessárias para que ocorram reacções de fusão nuclear. Contudo, o factor de

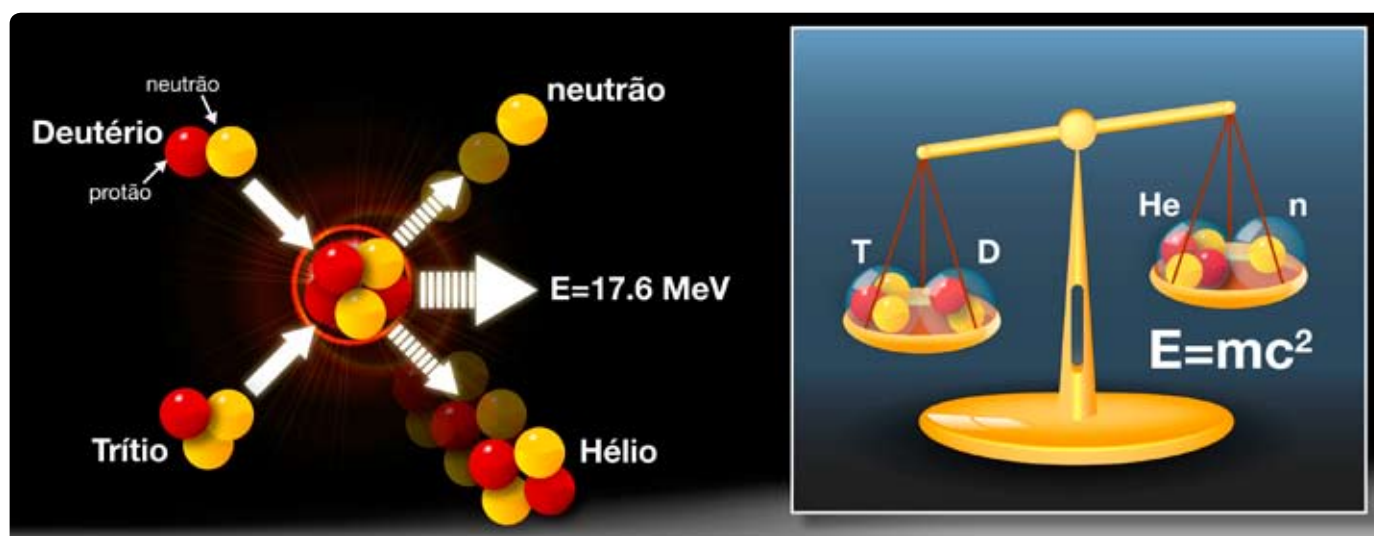


Figura 1 - Uma reacção de Fusão Nuclear ocorre quando átomos de deutério e trítio se juntam formando Hélio e libertando um neutrão, os quais, em conjunto, têm menor massa que os átomos iniciais (ainda que correspondam ao mesmo número de partículas). A massa que desaparece transforma-se em energia.

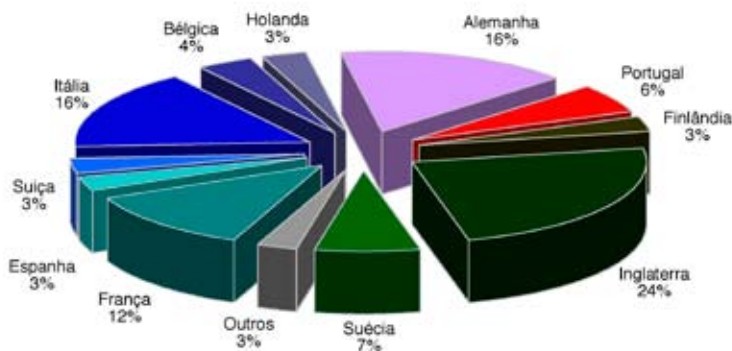


Figura 2 - Participação no JET dos Associados do EFDA entre 2000 e 2007

amplificação de energia (Q) foi inferior a 1, o que significa que existe ainda um longo caminho até se conseguirem os valores necessários para uma central eléctrica de fusão nuclear ($Q > 40$).

O ITER: O QUE É E PARA QUE SERVE?

Com base nos conhecimentos adquiridos na operação da actual geração de máquinas de fusão nuclear, foi projectado um novo tokamak, o ITER (International Thermonuclear Experimental Reactor) [5] (Fig. 3), com dois objectivos principais: (i) demonstrar a viabilidade científica e técnica de energia de fusão através da obtenção de 500 MW, durante 300 s, com $Q \approx 10$; e (ii) testar a operação simultânea e integrada de todas as tecnologias necessárias à operação de um reactor de fusão nuclear.

O ITER constitui o primeiro exemplo da globalização da Ciência e Tecnologia, uma vez que será desenvolvido no âmbito de uma Organização Internacional que integra, actualmente, a Comunidade Europeia de Energia Atómica (EURATOM), o Japão, os Estados Unidos da América, a Federação da Rússia, a República Popular da China, a Coreia do Sul e a Índia. O Projecto terá três fases principais: construção, operação e exploração científica e desmantelamento, com durações previstas de 10, 20 e 10 anos.

Para além das complexidades científica e técnicas, o ITER tem ainda dificuldades operacionais resultantes do facto das contribuições dos Parceiros serem essencialmente em espécie (pessoal e *hardware*), da forma de divisão do trabalho (a maioria dos componentes será fabricada por mais do que um Parceiro) e das culturas e estados de desenvolvimento diferentes dos vários Parceiros.

Após a assinatura do Acordo ITER, em 21 de Novembro de 2006, no Palácio do Eliseu, em Paris, iniciou-se a constituição da equipa (com 322 pessoas, em Fevereiro de 2009), a construção dos edifícios em Cadarache (França), o processo de licenciamento desta instalação pela Alta Autoridade Francesa para o Nuclear, a revisão e adaptação do projecto do tokamak, a avaliação dos custos tendo em consideração a realidade actual do mercado, a discussão de medidas que conduzam à redução dos custos e riscos e à optimização da integração das contribuições dos vários Parceiros, o acerto do calendário da construção e a possível participação de outros Países como Parceiros de Pleno

Direito (correspondente a uma contribuição de 10% para o orçamento do Projecto) ou Associados.

A revisão e adaptação do projecto envolveu muitas dezenas de cientistas e engenheiros de todo o mundo que analisaram em detalhe soluções para alguns problemas que ainda persistem, como, por exemplo, o desempenho das bobinas supercondutoras, as características dos sistemas de aquecimento auxiliar do plasma, com relevo especial para o sistema de injeção de feixes de iões negativos, o controlo de certas instabilidades (nomeadamente, os *Edge Localized Modes*), a configuração do divertor, a escolha dos materiais para as componentes que estão no interior da câmara de vácuo, a definição dos sistemas de manipulação remota e o teste das camadas férteis de lítio, indispensáveis para a geração de trítio no interior do próprio reactor.

Paralelamente, as Agências Domésticas para o ITER (na União Europeia, o "European Joint Undertaking for ITER and the Development of Fusion Energy" [6]) lançaram já os primeiros contratos para a realização de actividades de I&D ou a construção de componentes que se encontram no tempo crítico (por exemplo, as bobinas supercondutoras e a câmara de vácuo). Portugal, através do Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear [7], lidera um contrato para estudo do transporte de contentores desde o tokamak até aos edifícios das células quentes. O IPFN aguarda, ainda, o resultado de dois outros concursos, sobre aquisição de dados e integração de componentes num porto.

E APÓS O ITER?

A comunidade internacional tem os olhos postos no

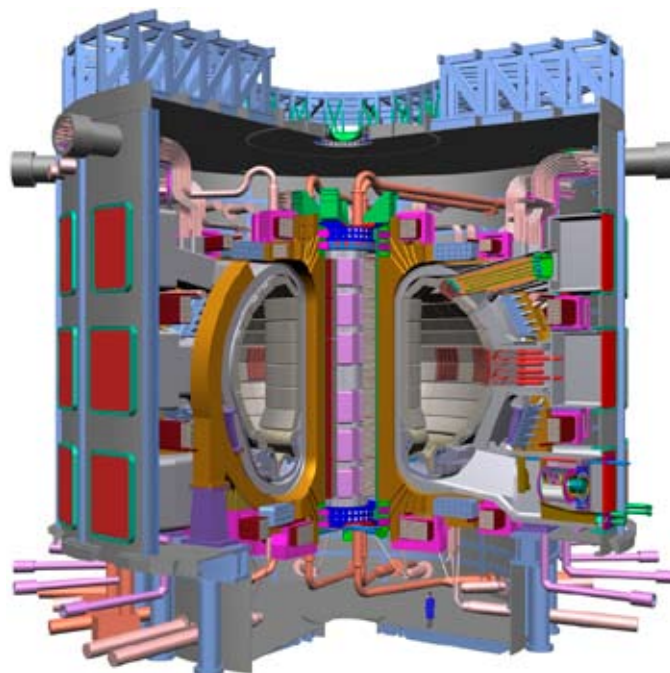


Figura 3 - Desenho esquemático do ITER

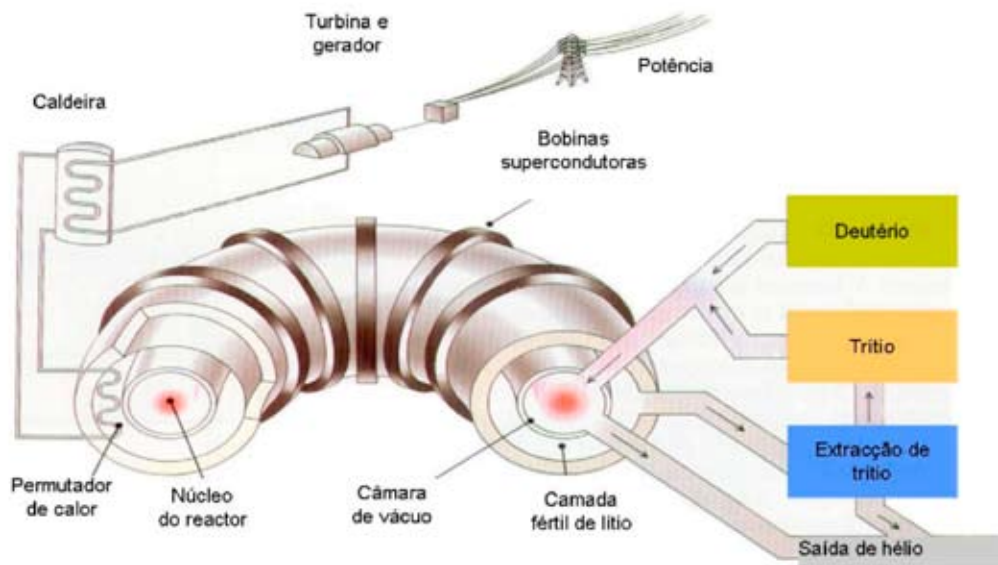


Figura 4 - Desenho esquemático de uma Central Eléctrica de Fusão Nuclear

ITER. Após dez anos de construção e de cinco anos de operação, este tokamak deverá obter energia de fusão, com um ganho significativamente maior que a unidade. Após o ITER, e de acordo com a abordagem “Fast Track Approach to Fusion Power” [8], será necessário um reactor de demonstração de grande porte, o DEMO, complementado por duas experiências de menor dimensão para o teste e qualificação dos materiais necessários às descargas de muito longa duração: IFMIF (International Fusion Material Irradiation Facility) [9] e CTF (Components Test Facility) [10].

O DEMO terá dois objectivos principais: (i) produção de energia eléctrica; e (ii) teste dos materiais adequados às descargas de longa duração. Não existe, ainda, uma ideia concreta sobre a configuração do DEMO. Tanto poderá ser uma máquina de confinamento inercial (é provável que a ignição seja primeiramente obtida nesta configuração) ou de confinamento magnético. Neste caso, ainda há duas hipóteses: um tokamak (geometria onde se obtiveram os melhores resultados, mas que só permite operação pulsada) ou um stellarator (que permite operação em regime estacionário, mas cujo estado de desenvolvimento é ainda inferior ao do JET).

PORQUÊ INVESTIR EM CENTRAIS ELÉCTRICAS DE FUSÃO NUCLEAR?

A Fig. 4 apresenta o desenho esquemático de uma central eléctrica de fusão nuclear. A produção estacionária de grandes quantidades de potência eléctrica (> 1 GW) pode ser obtida

através da operação de: (i) um reactor de fusão em regime estacionário (stellarator), (ii) um reactor em regime pulsado, com armazenamento de parte da energia e sua posterior entrega à rede durante o período em que o tokamak não está em funcionamento; (iii) dois reactores pulsados, em funcionamento alternado. Muito recentemente, têm sido propostas soluções baseadas em reactores híbridos de fusão e fissão. Estas soluções tiram partido dos neutrões rápidos das reacções de fusão para o tratamento dos lixos dos reactores de fissão e destes para gerarem o trítio necessário aos reactores de fusão.

A energia de fusão tem muitas vantagens, as quais justificam os investimentos: é poderosa (cada reacção gera 17.6 MeV), limpa (não há emissão de gases de efeito de estufa para a atmosfera) é praticamente inesgotável (os combustíveis de base (água e lítio) são abundantes e bem distribuídos na crosta terrestre), segura (as reacções podem ser interrompidas quase instantaneamente em caso de mau funcionamento) e amiga do ambiente (não há transporte de materiais radioactivos fora da Central e os materiais que ficam activos perdem a sua radioactividade ao fim de 30 a 100 anos).

A fusão nuclear, a fonte de energia das estrelas e, por isso, a mãe de uma grande parte das energias renováveis, é uma tecnologia energética muito interessante, que o Homem tenta trazer até à fase de comercialização. De acordo com as ultimas estimativas, este objectivo deve ser alcançado na segunda metade deste século. Mais tarde ou mais cedo dependente das decisões dos políticos.

Referências

- 1 - www.pppl.gov/projects/pages/tftr
- 2 - www.jet.efda.org
- 3 - Gary McCracken and Peter Stott, “Fusion, the Energy of the Universe”, Elsevier

- Academic Press, 2005.
- 4 - www.efda.org
- 5 - www.iter.org
- 6 - fusionforenergy.europa.eu
- 7 - www.ipfn.ist.utl.pt
- 8 - [fire.pppl.gov/fpa05_aps_llewellyn_smi-](http://fire.pppl.gov/fpa05_aps_llewellyn_smi-th.pdf)

- 9 - http://irfu.cea.fr/en/Phocea/Vie_des_labos/Ast/ast_technique.php?id_ast=2271
- 10 - <http://www.iop.org/EJ/abstract/0741-3335/47/12B/S20>

Carlos Varandas é Professor Catedrático do Departamento de Física do Instituto Superior Técnico, Presidente do Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear, Presidente do “Governing Board of the European Joint Undertaking for ITER and the Development of Fusion Energy” e Membro do “ITER Council”.



Cortesia de Jim Al-Khalili

Quem inventou o Zero?

JIM AL-KHALILI

O ano passado, passei uma boa parte do meu tempo a viajar no Médio Oriente, enquanto produzia uma série de televisão para a BBC chamada “Ciência e Islão”, e aprendi muitas coisas interessantes sobre história da ciência que são importantes para desfazer alguns equívocos amplamente difundidos no Ocidente.

Por exemplo, se perguntarmos a alguém o que foi que os árabes nos trouxeram, depois do rol habitual de tapetes mágicos, Ali Babá, danças do ventre, tamareiras e poços de petróleo, o exemplo mais frequentemente citado é a invenção do zero. A verdade, porém, é que, embora a matemática árabe fosse extraordinariamente diversificada e avançada – foram eles que desenvolveram duas novas disciplinas: a álgebra e a trigonometria – essa invenção não lhes pode ser atribuída. Qual é então a origem desta valorização do nada matemático?

Acontece que a resposta a esta pergunta não é assim tão simples, porque a pergunta “Quem descobriu o zero?” pode significar várias coisas diferentes e, para cada caso, a resposta será também diferente. Poderá tratar-se da pergunta: quando foi feita a primeira utilização de um símbolo, ou marca, para indicar um espaço em branco dentro de um número (por exemplo, para podermos distinguir entre os números 11 e 101)? Ou poderá ser: quando se valorizou pela primeira vez o zero, enquanto conceito filosófico que simboliza o nada? Ou ainda: qual a primeira referência ao zero, enquanto número de pleno direito?

A definição mais elementar de zero é a de uma notação posicional dentro de um número. No início do segundo milénio a.C., os antigos babilónios precisavam de poder estabelecer distinções entre os números nas suas tabelas astronómicas estelares. Assim, sempre que necessário, deixavam um espaço entre os símbolos para indicar um lugar vazio (onde hoje utilizaríamos o símbolo zero).

Muito mais tarde, os babilónios selêucidas, que governaram o território que é hoje o Iraque como sucessores de Alexandre, o Grande, inventaram um símbolo para substituir este ambíguo espaço dos antigos babilónios. Assim, o mais antigo símbolo conhecido para o zero encontra-se, cerca de 300 a.C., em muitas placas de argila babilónicas cobertas de escrita cuneiforme.

Os antigos gregos foram fortemente influenciados pela

astronomia babilónica e pela matemática a ela associada. Por conseguinte, precisavam também de um símbolo para o zero e escolheram a letra grega ómicron (décima quinta letra do alfabeto grego, correspondente ao o aberto). Porém, este símbolo zero também não era ainda um número, nem sequer um conceito, de pleno direito.

E quanto ao conceito de zero como representação do nada? Aqui, o mérito terá de ser atribuído aos antigos gregos. Mais especificamente, foi o grande Aristóteles (384-322 a.C.), o mais famoso filósofo que jamais viveu, quem primeiro escreveu claramente sobre o zero enquanto conceito matemático. Na sua grande obra, conhecida como a “Física” de Aristóteles, ele descreve a ideia do zero matemático em relação a um ponto numa linha e explica-a da seguinte forma: se a velocidade de qualquer objecto em movimento aumentar proporcionalmente à resistência (ou densidade) do meio através do qual ele se desloca, a sua velocidade no vácuo (ou vazio) terá necessariamente de ser infinita, uma vez que aí não há qualquer resistência. Segundo Aristóteles, isto demonstrava a impossibilidade da existência do vazio. Evidentemente, hoje sabemos que as ideias de Aristóteles sobre física estão erradas, mas não há dúvida de que o homem sabia pensar.

Passamos agora à questão mais importante de tratar o zero como um número de pleno direito, que deve ser considerada como correspondendo à verdadeira invenção do zero. É geralmente aceite que o símbolo do zero nos chegou da Índia, integrando o pacote trazido pelo Império Islâmico Medieval, juntamente com a notação decimal. Parece não haver dúvida de que, já em 505 d.C., os hindus consideravam o zero como um número real, mais do que um mero símbolo. Brahmagupta, o maior de todos os cientistas indianos medievais, afirmou correctamente em 628 da Era Comum que zero multiplicado por qualquer número finito dá zero e descreveu a impossibilidade da divisão de um número por zero. Concluimos, então, que a resposta à pergunta “Quem inventou o zero?” é a seguinte: os babilónios inventaram o primeiro símbolo do zero, os gregos foram os primeiros a compreender o conceito de zero e os indianos utilizaram o zero pela primeira vez como número de pleno direito. Parece que nunca nada é simples e, neste caso, a origem do nada acaba por não ser nada simples.

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

A LUA entre a ciência e a literatura

CARLOS FIOLHAIS



O que têm em comum Johannes Kepler e Edgar Allan Poe? Pois ambos são motivos de centenários neste ano de 2009: passam 400 anos da publicação da “Astronomia Nova”, o livro que contém as duas primeiras leis do astrónomo alemão, e passam 200 anos do nascimento do poeta e contista norte-americano. Mas os paralelos não se esgotam aí:

Kepler foi o autor da primeira obra de ficção científica, “Somnium” (“Sonho”), publicado postumamente em 1634, na qual descreve uma viagem da Terra à Lua, ao passo que Poe retomou o mesmo tema no conto “A aventura sem paralelo de um tal Hans Pfaall”, saído em 1835, que narra uma subida à Lua a bordo de um balão.

Entre as duas efemérides, há precisamente 300 anos, situa-se uma outra: a da primeira ascensão em balão de ar quente, ainda que num protótipo não tripulado. A demonstração feita pelo padre luso-brasileiro Bartolomeu de Gusmão no paço de el-rei D. João V a 8 de Agosto de 1709 é um dos muito raros eventos em que o engenho luso aparece na história da tecnologia. Se Poe relata no século XIX uma arrojada subida em balão foi porque muitos aventureiros tinham antes efectuado demonstrações tripuladas. A primeira ascensão humana em balão, que se deve aos irmãos franceses Montgolfier, só foi efectuada 74 anos após o ensaio de Gusmão e há até quem especule sobre a possibilidade de ter havido transferência tecnológica através de Alexandre de Gusmão, irmão do inventor da “Passarola”, que andou por Paris. A bordo iam Pilâtre de Rosier – o professor de Física e Química que se haveria de tornar a primeira vítima mortal de um desastre aéreo quando, anos depois, tentava atravessar o canal da Mancha – e o Marquês de Deslambre.

Também em Portugal se realizaram em finais do século XVIII e inícios do século XIX algumas admiráveis proezas de balonismo. O destemido balonista italiano Vincenzo Lunardi, que tinha sido o primeiro

a subir aos céus na Inglaterra (levando a bordo um gato, um cão, uma pomba e uma garrafa de vinho!) fez uma exibição no Terreiro do Paço, em Lisboa, que levou o poeta Manuel Maria Bocage a escrever o “Elogio poético á admirável intrepidez, com que em domingo 24 de Agosto de 1794 subiu o capitão Lunardi no balão aerostático”. Bastam dois versos para se ver o estilo gradiloquente: “Guardai da glória no imortal tesouro / O nome de Lunardi em letras de ouro”. Lunardi acabou por se fixar em Lisboa e falecer aí.

Em 1819 era a vez do professor de física belga Étienne-Gaspard Robertson e do seu filho Eugène efectuarem uma novo espectáculo de subida em balão em Lisboa, que inclui o primeiro salto de pára-quedas feito em solo português. O pai já tinha realizado vários voos, um dos quais em Copenhaga que muito impressionou o então jovem físico Hans Christian Oersted a ponto de o levar a escrever poemas sobre o voo. Mas, desta vez, o poeta de serviço era um rival de Bocage, José Daniel Rodrigues da Costa, o Josino Leiriense da Arcádia Lusitana, que escreveu no mesmo ano do espectáculo “O balão aos habitantes da Lua: uma epopeia portuguesa”. Tenho em mãos uma reedição ilustrada, de apenas cem exemplares, datada de 2006 (do prelo da Faculdade de Letras da Universidade do Porto, com introdução de Maria Luísa Malato Borralho; em 1978, já tinha saído nas Edições 70 uma edição com prefácio do poeta Alberto Pimenta). E leio uma engraçada sátira social, com a forma roubada a “Os Lusíadas”. O argumento é científico: “Matemáticos pontos combinando,/ Tendo por base a grande Astronomia,/ Um Génio, que não tem nada de brando, / Projecta ir ver o Sol, fonte do dia: / Em pejado Balão vai farejando,/ Subindo mais e mais como devia;/ Divisa a Lua, mete-se por ela, / Pasma de imensas cousas que viu nela”. Mas, partindo da ciência, a literatura voa livre. A Lua, nesta utopia portuguesa, está povoada pelos Lulanos, nome parecido com Lusitanos. Mas, como numa utopia à la More tudo deve ir ao contrário, eis que nessa Lua habitada, ao contrário de Portugal, a justiça funciona: “Aqui não há ladrões! Se um aparece. / É logo e sem demora castigado; /Tenha empenhos ou não, ele padece,/ Sofrendo o que na Lei lhe é destinado”.

Há que fazer justiça a Bocage e a Rodrigues da Costa, por cruzarem a ciência, ou melhor, a tecnologia, com a arte. Se eles não têm a notoriedade de Kepler e de Poe deviam ter, pelo menos, uma maior notoriedade no vasto espaço de língua portuguesa.

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”.

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



ÁREAS DE INVESTIGAÇÃO

Física da Matéria Condensada

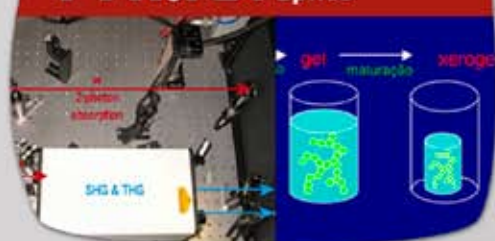
Revestimentos e Filmes Finos

Física Atômica e Molecular

Óptica, Optometria e Ciências da Visão

GRUPOS DE INVESTIGAÇÃO

FAMO Física Atômica,
Molecular
e Óptica



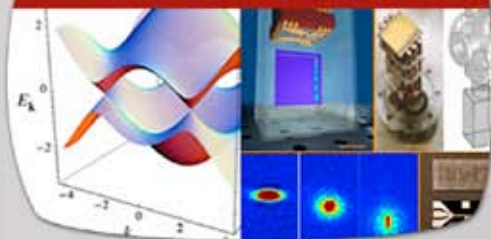
FCD FENÓMENOS
COOPERATIVOS
EM DIELECTRICOS



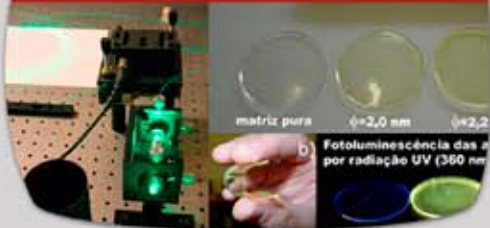
OCV Óptica
e Ciências
da Visão



GCEP Complexidade
e Propriedades
electrónicas



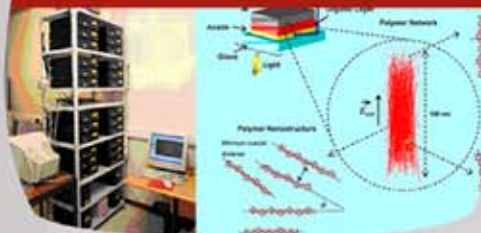
FMNC Física
dos Materiais
Nano-Cristalinos



GRF Revestimentos
Funcionais



GFCT Física
Computacional
e Teórica



O ECLIPSE DO SOL NA ILHA DO PRÍNCIPE

Sofia Andringa,
LIP

CUMPREM-SE AGORA NOVENTA ANOS SOBRE A PRIMEIRA PROVA EXPERIMENTAL DA TEORIA DA RELATIVIDADE GERAL DE ALBERT EINSTEIN. DUAS EXPEDIÇÕES BRITÂNICAS À ILHA DO PRÍNCIPE E AO BRASIL OBSERVARAM, DURANTE O ECLIPSE TOTAL DE 29 DE MAIO DE 1919, A DEFLECCÃO DA LUZ QUE PASSA PRÓXIMA DO SOL. ESTA MEDIÇÃO – QUE LEVOU À RÁPIDA ACEITAÇÃO DA TEORIA, E MUDOU OS CONCEITOS DE ESPAÇO E TEMPO – ESTEVE MAIS TARDE ENVOLTA EM POLÊMICA, MAS PODE SER HOJE CONSIDERADA UMA DAS GRANDES AVENTURAS DA FÍSICA MODERNA.

Em Maio de 1919, Eddington e colegas partem em viagem a dois destinos equatoriais, Ceará e Ilha do Príncipe, para observações astronómicas durante um eclipse total do Sol. A sua verificação de que a trajectória da luz proveniente de estrelas remotas é curvada pelo Sol foi a primeira prova directa da teoria da Relatividade Geral de Einstein.

Os astrónomos tinham sido os primeiros a entusiasmar-se com a teoria da relatividade geral, que propunha um novo quadro de explicação da gravitação. Substituindo a lei da atracção universal de Newton, Einstein propunha que a gravidade era o efeito da alteração da geometria do espaço-tempo provocada pela presença de matéria. As trajectórias de cada objecto eram definidas pela geometria local, o que explicava porque é que todos os objectos eram acelerados da mesma forma no mesmo ponto, isto é, porque é que a massa gravítica tinha de ser igual à massa inercial, curioso postulado da teoria Newtoniana. Os novos cálculos solucionavam pequenos problemas há muito identificados no movimento dos planetas e, mais importante, a alteração fundamental do paradigma previa fenómenos novos. Também a luz seria sensível à geometria do espaço-tempo, as trajectórias da luz seriam alteradas na proximidade de grandes massas, as imagens teriam informação não só sobre a fonte mas também sobre o espaço entre emissão e recepção. Este fenómeno não tinha nunca sido observado e não poderia ser

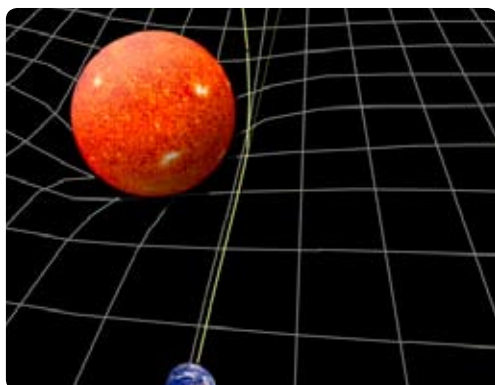


Figura 1 - O Sol altera a curvatura do espaço-tempo e a estrela A é vista da Terra como estando na posição B'

simplesmente testado em laboratório: era necessária uma massa gigantesca que se pudesse colocar (e retirar) entre uma fonte de luz e o receptor. Um eclipse solar era a melhor opção – talvez a única – para o observar.

Já Newton se tinha perguntado se os corpos poderiam curvar a luz que passasse próxima por acção à distância. É essa a primeira das questões que deixa em aberto, “para serem investigadas por outros no futuro”, nas conclusões do seu tratado de Óptica, em 1704 (ver, por exemplo, [1]). Era um pensamento natural na teoria corpuscular da luz e, embora não se soubesse a massa do corpúsculo (que hoje chamamos fóton), podia calcular-se a deflecção para uma massa, mesmo que infinitamente pequena, a viajar à velocidade da luz. Mas a ideia, impossível de testar à época, foi esquecida com o interesse crescente na teoria ondulatória. Einstein regressou à questão em 1911 [2], observando que as leis da mecânica num campo gravítico homogéneo são equivalentes às leis num referencial inercial com uma aceleração uniforme, de forma que a massa gravitacional de um objecto tem de ser igual à sua massa

inercial e, já que $E=mc^2$, chegou à gravitação da energia e à curvatura da luz (agora ondas electromagnéticas) pelo campo gravítico. Aplicando apenas estes princípios teóricos re-obteve, naturalmente, o resultado clássico, mas notou também que a passagem do tempo – a contagem de número de ondas – era diferente em diferentes pontos do potencial gravítico. Foram essas reflexões que levaram à teoria da relatividade geral, na qual as trajectórias são definidas em termos da geometria do espaço-tempo, que é curvada à volta de grandes massas. No cálculo final, publicado em 1916 [3], a deflecção da luz do sol prevista é maior – de facto, o dobro da anterior: cerca de 1,7 segundos de arco (e, acrescenta Einstein, de 0,2 segundos de arco para a luz deflectida por Júpiter).

Os eclipses totais do Sol são fenómenos raros e fugazes, que não deixam ninguém indiferente: a Lua atravessa-se entre a Terra e o Sol, faz-se noite por uns momentos, os pássaros dirigem-se aos ninhos, as pessoas observam a coroa do Sol e as estrelas, mas rapidamente volta a ser dia. A primeira guerra mundial tinha anulado expedições para a observação de outros eclipses; em 1919, no entanto, um eclipse total seria observável desde pontos equatoriais durante largos seis minutos do dia 29 de Maio. Várias expedições aos melhores locais de observação foram preparadas com grande antecedência. Os astrónomos da Royal Astronomical Society escolheram dois pontos: o Ceará, no Brasil, e a Ilha do Príncipe, na então colónia portuguesa de São Tomé e Príncipe. O seu objectivo era observar as Hyades - um aglomerado de cerca de 300 estrelas, a 150 anos-luz de distância da Terra, na constelação Taurus. A posição aparente das Hyades durante a noite é bem conhecida. Durante o dia, a sua imagem seria alterada pela passagem da luz junto ao Sol. Era essa a observação que só podia ser feita durante o eclipse.

Depois dos contactos com os colegas em Portugal e no Brasil, as equipas encabeçadas por Frank Dyson (Astronomer Royal e director do Observatório de Greenwich) e Arthur Eddington (director do Observatório de Cambridge) embarcaram com os seus telescópios e outro equipamento num barco rumo a Lisboa e depois à Madeira, onde se separaram: o grupo de Eddington dirigiu-se à Ilha do

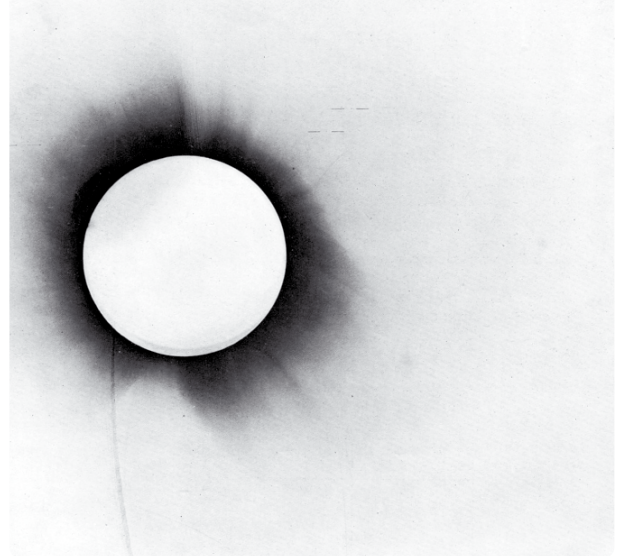


Figura 2 - Uma das fotografias do artigo de Dyson, Eddington e Davidson [4]

Príncipe, o de Dyson ao Brasil. No Brasil, este juntou-se a colegas brasileiros que iam observar a coroa solar; na Ilha do Príncipe, Eddington dirigiu-se a uma roça isolada com boas condições de observação e com apoio local, embora sem astrónomos portugueses. Dyson levava dois tipos de instrumentos, um dos quais encontrou alguns problemas na calibração, o que veio a pôr em causa os resultados depois obtidos; no Príncipe toda a preparação correu bem mas, como é frequente, o dia do eclipse amanheceu com nuvens. Por entre as nuvens, como escreveu na altura, Eddington observou o Sol a desaparecer e as esperadas Hyades a tornarem-se visíveis.

Nas fotografias de ambos os grupos as posições das Hyades são diferentes das conhecidas por poucos segundos de arco, e em todas há um desvio na direcção prevista pela Relatividade Geral. Estes resultados foram enviados a Einstein logo em Junho e apresentados poucos meses mais tarde à comunidade científica; Einstein tornou-se famoso quase instantaneamente e a Teoria da Relatividade Geral foi considerada pelos físicos da época um dos

O 90º aniversário do eclipse do Sol na Ilha do Príncipe levou à organização de uma série de palestras, conferências e exposições a ter lugar tanto em Portugal como em São Tomé e Príncipe, que se enquadram também no Ano Internacional da Astronomia.

Para Maio, estão previstas uma série de palestras organizadas pela Sociedade Portuguesa de Geografia, em Lisboa e em São Tomé e Príncipe, e no dia 29 o Observatório Astronómico de Lisboa acolherá uma palestra e uma exposição de documentos relacionados com a expedição. A ONG Associação Cientistas no Mundo aproveitará também a ocasião para lançar projectos de cooperação científica com os PALOP.

Em Setembro, vai realizar-se em São Tomé a conferência internacional de astropartículas, “Novos Mundos na Física das Astropartículas”. Esta conferência é organizada pelo LIP e o CENTRA de dois em dois anos, desde 1996, até agora sempre na Universidade do Algarve.

Em conjunto com a conferência e as palestras públicas que se lhe costumam associar, haverá uma escola dirigida a estudantes dos últimos anos do ensino secundário de São Tomé e Príncipe, com o título “O que sabemos do Universo”, a qual, além de uma introdução elementar à Relatividade Restrita e Geral e à Mecânica Quântica, incluirá também temas actuais da Cosmologia, Astrofísica e Física de Partículas.

Para as mesmas datas está prevista a inauguração de uma exposição em São Tomé, organizada pela Fundação Mário Soares, que tocará os mesmos temas de física moderna, mas será mais focada na expedição de Eddington há 90 anos.

A deflecção da luz pelo Sol pode ser calculada classicamente de forma simples.

A deflecção no limite de grandes velocidades, em que o momento total muda pouco, pode ser calculada como um acréscimo de momento transverso, provocado pela força gravítica na direcção perpendicular ao movimento:

$$\Delta P_T = \int F \cos \Theta dt$$

A força gravítica depende da distância, $R / \cos \Theta$, em que R define o ponto de maior aproximação:

$$\Delta P_T = 2GmM / R^2 \int_0^{\infty} (\cos \Theta)^3 dt \quad \Delta P_T = 2GmM / (Rc) \int_0^{\pi/2} \cos \Theta d\Theta = 2GmM / (Rc)$$

O ângulo resultante não depende da massa de teste (m), apenas da constante de gravitação (G), da massa que cria o campo gravítico (M, a massa do Sol) e da distância de maior aproximação (R, o raio do Sol) e da velocidade (c, para o caso da deflecção da luz)

$$\alpha : \tan(\alpha) = \Delta P_T / P = 2GmM / (Rc) / (mc) = 2GM / (Rc^2)$$

A teoria Newtoniana pode ser vista como uma primeira aproximação à relatividade geral [3], a alteração do espaço-tempo implica que no integral apareça um factor extra, e o resultado seja duas vezes maior.

grandes feitos do pensamento humano. O artigo que descreve as observações e a análise dos dados foi finalmente publicado em 1920 [4].

Os resultados são obtidos por comparação entre fotografias tiradas durante o eclipse e em noites subsequentes, no mesmo ponto do Brasil, e entre apenas duas fotografias sem nuvens obtidas durante o eclipse no Príncipe e outras obtidas em Cambridge meses antes – com a mesma posição aparente do céu. A deflecção medida, 1.98 ± 0.16 segundos de arco e 1.61 ± 0.40 segundos de arco, respectivamente, concordam com o valor previsto pela relatividade geral: 1.75 segundos de arco. Foram abandonados resultados de um outro instrumento astrográfico usado no Brasil, mas cuja calibração foi afectada pelas diferenças de temperatura durante o eclipse. Na altura essa escolha foi bem aceite, mas mais tarde levantaram-se dúvidas, e todos os dados foram reanalisados em 1978 com novos métodos mais precisos: o resultado final é compatível para todos os instrumentos e as incertezas pouco diminuem [5]. As medições durante os eclipses são feitas em pouco tempo e, em geral, em condições difíceis. Hoje, a previsão da relatividade geral é confirmada a menos de 0.2% medindo a deflecção provocada pelo sol nas ondas de rádio de quasares distantes em grandes observatórios permanentes.

A primeira e mais directa prova da Relatividade Geral era um pequeno desvio da luz das estrelas, desvio tanto maior quanto mais próxima a luz passa do Sol. Este efeito provoca o alargamento da

imagem por objectos entrepostos entre a fonte e o observador de qualquer radiação, e é conhecido por lente gravitacional. Hoje, as lentes gravitacionais são correntemente utilizadas em astronomia. Podem ser usadas como telescópios, ao aumentarem e concentrarem a luz de objectos muito distantes, mas a ideia pode ser invertida para permitir medir as massas que alteram imagens já conhecidas. Assim, têm sido usadas na identificação de planetas extra-solares, que alteram a luz recebida da sua estrela, ou na medição precisa das massas de vários objectos. Em particular, as lentes gravitacionais são importantes na identificação e estudo da matéria escura, “observável” apenas pelos seus efeitos gravíticos, mas que compõe a maior parte da massa do Universo.

Hoje, a relatividade geral é aplicada todos os dias – na localização precisa por GPS, por exemplo. Mas continua ainda a ser um dos grandes feitos do pensamento humano, a inspirar igualmente autores de ficção científica e físicos... Grandes experiências tentam caracterizar a gravidade ou a alteração do espaço-tempo a pequena escala – nunca foi medida a atracção gravítica a distâncias menores do que a décima de milímetro – ou procuram grandes ondas gravitacionais que se propaguem pelo espaço-tempo, provocando minúsculas alterações a grande distância. Mas as expedições de há noventa anos para testar a relatividade geral pela primeira vez, em locais exóticos, longínquos e isolados, durante seis minutos dum eclipse total seguido entre as nuvens, continuam a ser uma das melhores histórias da aventura da física.

Agradeço ao Professor Mário Pimenta a sugestão do artigo, a leitura atenta, e as discussões.

Referências:

[1] K. Brown, “Reflections on Relativity” (1999) (<http://www.mathpages.com/rr/rr-toc.htm>).

[2] A. Einstein, “Über den Einfluss der Schwerkraft auf die Ausbreitung des Lichtes”, *Annalen der Physik*, 35 (1911); em inglês “On the Influence of Gravity on the Propagation of Light” em “On the Shoulders of Giants: the great works of physics and astronomy”, ed. por Stephen Hawking, Running Press, Philadelphia, London, (2002).

[3] A. Einstein, “Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie”, *Annalen der Physik*, 49 (1916); em inglês “The Foundation of the General Theory of Relativity” em “On the Shoulders of Giants: the great works of physics and astronomy”, ed. por Stephen Hawking, Running Press, Philadelphia, London, (2002).

[4] F. W. Dyson, A. S. Eddington e C.R. Davidson, “A Determination of the Deflection of Light by the Sun’s Gravitational Field, from Observations Made at the Total Eclipse of May 29, 1919”, *Phil. Trans. Roy. Soc. A* 220, 291 (1920).

[5] D. Kennefick, “Not only because of theory: Dyson, Eddington and the competing myths of the 1919 eclipse expedition”, *Proceedings of the 7th Conference on the History of General Relativity, Tenerife, 2005*, e-Print: arXiv:0709.0685 [physics.hist-ph] (2007).

**EM 2009 VAMOS DESCOBRIR O NOSSO
UNIVERSO.
ANO INTERNACIONAL DA ASTRONOMIA 2009**

João Fernandes
Universidade Coimbra
jmfernan@mat.uc.pt

Pedro Russo
**União Astronómica Internacional, Observatório
Europeu do Sul**
prusso@eso.org

O Ano Internacional da Astronomia 2009 (AIA2009) assinala os passos de gigantes que constituíram a primeira utilização do telescópio para observações astronómicas por Galileu Galilei e a publicação da obra seminal de Johannes Kepler, “Astronomia Nova”, em 1609. Quatrocentos anos volvidos, a Astronomia é uma iniciativa científica pacífica que une os astrónomos numa família internacional e multicultural, trabalhando em conjunto para descobrir as respostas para algumas das questões mais fundamentais para a Humanidade. O AIA2009 pretende transmitir o entusiasmo e o prazer de partilhar o conhecimento que temos sobre o Universo, o nosso lugar nele e a importância da Astronomia para a nossa cultura.

Proclamado em 2007 pelas Nações Unidas, o AIA2009 têm mais de 137 nações e 50 organizações internacionais envolvidas numa celebração mundial, tornando o AIA2009 a maior rede de sempre em Astronomia e divulgação científica.

A nível global o projecto é coordenado pela União Astronómica Internacional (UAI) e a UNESCO, que têm o papel de catalisadores a coordenadores do AIA2009. A UAI e a UNESCO estabeleceram 11 projectos globais que dão o enquadramento e a contextualização necessária a uma celebração que se quer global e com uma identidade forte.

Em Portugal, tal como no resto do Mundo, a ideia é fazer de 2009 uma celebração da Astronomia que deseja chegar ao maior número de pessoas. A comissão nacional para o AIA2009 construiu, assim, um plano de actividades que pretende, por um lado, cumprir os objectivos estabelecidos pela UAI e a UNESCO para este ano, e por outro lado, estar atento à realidade nacional. Assim, são também objectivos do AIA2009 para Portugal, entre outros, dar a conhecer quem são (e quem foram) os astrónomos em Portugal; promover as parcerias entre diferentes instituições (directamente ligadas ou não à Astronomia) em torno de temas astronómicos; aumentar a colaboração entre as comunidades de astrónomos amadora e profissional; e criar as condições para que todos os que desejarem participar nesta grande festa o possam fazer.

O AIA2009 é organizado em Portugal pela Sociedade Portuguesa de Astronomia, com o apoio da Fundação para a Ciência e a Tecnologia, da Fundação Calouste Gulbenkian, o Ciência Viva e a European Astronomical Society.



Temos assim um plano de actividades diversificado que se inspira – e adapta a Portugal – nos projectos definidos internacionalmente, tais como “100 Horas de Astronomia”, a exposição “Da Terra ao Universo” ou o “Galileo Teaching Training Programme”. Por outro lado, o plano inclui os seus próprios projectos, de que são exemplos as palestras e sessões de observação em escolas, o projecto “E Agora sou Galileu” – que pretende reconstruir, ao longo do ano e em todo o país, as observações que Galileu fez em 1610 da Lua, de Júpiter, de Vénus, etc. – e a tradução da obra de Galileu Galilei, “Sidereus Nuncius”, cujo original foi publicado em Março de 1610 e para a qual não havia ainda uma tradução nacional.

Entretanto, passaram três meses desde o início do AIA2009. Que poderemos dizer para já ? Neste momento, o que podemos observar é francamente animador do que poderá vir a ser este ano. Estão associadas ao AIA2009 mais de 200 instituições nacionais entre observatórios astronómicos, unidades de investigação, universidades, sociedades científicas, escolas, associações, museus, planetários, centros de ciência, câmaras municipais, etc. Estas instituições são responsáveis por um grande número de actividades, algumas delas realizadas em colaboração directa com a Comissão Nacional e muitas outras por iniciativa própria. Entre actividades que já decorreram e estão agendadas, poderemos contar mais de 400 a ocorrerem em muitas localidades do continente e ilhas, envolvendo dezenas de astrónomos e centenas de participantes.

Falando agora mais concretamente de iniciativas que já decorreram, permitimo-nos deter em duas delas. A sessão de abertura do AIA2009 em Portugal decorreu na Casa da Música, no Porto, no dia 31 de Janeiro. Este evento “misturou” uma palestra científica, pela Doutora Teresa Lago (na imagem), com a audição de peças sinfónicas de

temática astronómica, como os “Planetas” de Gustav Holst, interpretadas pela Orquestra Nacional do Porto, dando um exemplo de cumprimento de um dos objectivos do AIA2009, que concerne o estabelecimento de parcerias.

Por outro lado, referimos as “100 horas de Astronomia” – um programa internacional que decorreu entre 2 e 5 de Abril, w que em Portugal contou com iniciativas em mais de três dezenas de localidades, pondo em contacto os astrónomos profissionais e amadores com o grande público.

Do ponto de vista das actividades que se vão estender ao longo do ano, podemos destacar a exposição de imagens astronómicas “Da Terra ao Universo” em locais da via pública. A fotografia abaixo mostra a imagem de uma galáxia pendurada numa árvore de Angra do Heroísmo (durante o mês de Março).

Aconteceu

MORREU CONCEIÇÃO BENTO

Portugal perdeu no dia 16 de Março uma grande cientista. Professora do IST e investigadora do Centro de Física Teórica de Partículas (CFTP), deixou um legado de trabalho científico de grande qualidade e impacto internacional na área de física de partículas e cosmologia. O seu desaparecimento prematuro foi sentido com grande consternação.

A Conceição Bento ficará sempre na memória de todos os que a conheceram, amigos, antigos professores, alunos e colaboradores, incluindo muitos cientistas de todo o mundo, como mostra a mensagem abaixo, de Alvarez Gaumé, director da Divisão Teórica do CERN, Luiz Alvarez-Gaumé, que a GF decidiu divulgar na sua versão original:

“Message from Luis Alvarez-Gaumé:

On behalf of the CERN Theory Division we want to express our deep consternation to the premature passing away of Maria Conceição. She was a great person and an excellent scientist, and she will be dearly missed. In moments like this, no words can soften the pain and the sadness. All we can do is to send you the most sincere expression of our deep sympathy.

Luis Alvarez-Gaumé
(on behalf of CERN-TH)”

ADN - ASSOCIAÇÃO PARA A DIVULGAÇÃO DA ENERGIA NUCLEAR

Um grupo de físicos e engenheiros decidiu criar a Associação para a Divulgação da Energia Nuclear (ADN). Esta notícia dá conta do seu manifesto que tem por lema “Toda a energia que consumimos na Terra é proveniente do Sol e a energia do Sol é nuclear.”

O aumento das necessidades energéticas mundiais é um facto inegável que decorre das legítimas aspirações de desenvolvimento e maior bem-estar.

Paralelamente, é inevitável a necessidade de uma diminuição da dependência dos combustíveis fósseis, nomeadamente do petróleo, decorrente de razões físicas, geopolíticas e ambientais.

Em conjunto, estes dois processos vão moldar o que será o futuro do Planeta.

As respostas a estes problemas passam por medidas activas de promoção da eficiência energética, pela aposta decisiva nas energias renováveis, mas também pelo investimento na energia nuclear.

Só o conjunto destas soluções poderá fazer face à procura e à mudança estrutural necessária para reduzir a produção de gases com efeito de estufa.

Em particular, todos os esforços para uma diminuição do



Por outro lado, neste momento estão agendadas perto de duas centenas de acções de palestras e sessões de observação em escolas do ensino básico e secundário de todo o país. Este número é particularmente relevante já que a comissão nacional esperava vir a organizar 50 destas acções durante o ano.

Aqui se deixam alguns exemplos do que está a ser o AIA2009. Mas só vamos ainda no início. Em todo o caso, o site oficial www.astronomia2009.org está disponível para informações mais detalhadas. Para informações sobre as actividades a nível global podem visitar o site oficial www.astronomy2009.org.

consumo de petróleo no sector dos transportes implicam, directa ou indirectamente, um aumento do consumo de energia eléctrica.

Quer seja pela utilização de veículos eléctricos directamente recarregáveis na rede eléctrica, ou pela utilização de células de combustível a hidrogénio, a energia eléctrica estará sempre presente.

Apesar de o hidrogénio ser o elemento mais abundante do Universo, na Terra ele não existe livre, a maior parte está associada ao oxigénio constituindo a água. A sua separação faz-se utilizando energia eléctrica.

Não faz sentido que a redução da emissão de gases com efeito de estufa que se conseguirá com estes novos veículos implique um aumento da sua produção, por efeito da utilização de combustíveis fósseis na produção de energia eléctrica.

Em 2008 a European Physical Society (EPS), organismo não governamental que representa mais de 100.000 físicos europeus, tornou pública a sua posição sobre a utilização da energia nuclear para fins pacíficos afirmando que o nuclear pode e deve dar um contributo relevante para o portfolio de fontes energéticas com baixo nível de emissões de CO₂.

A posição da EPS face à energia nuclear foi divulgada pela Sociedade Portuguesa de Física (SPF) na Gazeta de Física, vol. 31 n.ºs 1/2/ 2008, e numa mesa redonda que teve lugar na Universidade Nova de Lisboa, em Setembro de 2008.

Dada a relevância deste assunto e a necessidade de se aumentar a informação e a formação sobre as tecnologias nucleares, um grupo de sócios da SPF e outros cientistas entenderam que era importante alargar a discussão à Sociedade em geral.

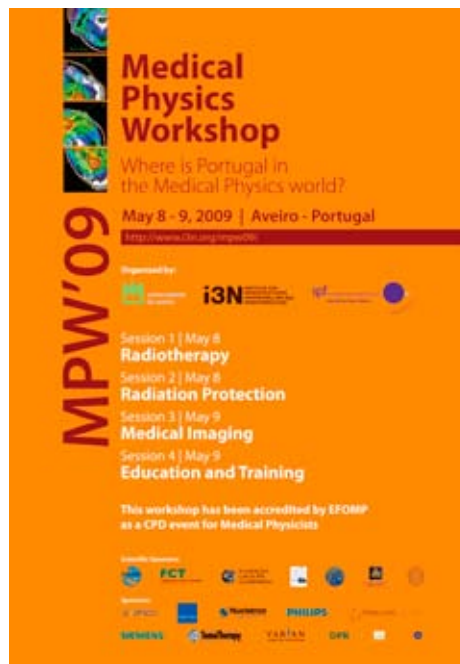
Decidiram constituir a Associação para a Divulgação da Energia Nuclear (ADN), como plataforma de debate e de informação rigorosa sobre a energia nuclear, envolvendo participantes dentro e fora do meio académico e científico. A ADN está aberta à Sociedade Civil, acolhendo todos os particulares e organizações que queiram participar num debate que não pode ser tabu em Portugal.

MEDICAL PHYSICS WORKSHOP - WHERE IS PORTUGAL IN THE MEDICAL PHYSICS WORLD

A Divisão de Física Médica (DFM) da SPF, em conjunto com o I3N da Universidade de Aveiro, organizou um evento a que chamou "Medical Physics Workshop – Where is Portugal in the Medical Physics World", que decorreu a 8 e 9 de Maio de 2009, na Reitoria da Universidade de Aveiro. A ideia foi juntar portugueses com experiências diferentes, mas tendo como denominador comum a área da Física Médica, que trabalhem em hospitais em Portugal ou em instituições internacionais de referência; que tenham estado fora a trabalhar ou a fazer o doutoramento e tenham regressado a Portugal; que trabalhem em investigação, no ensino, na indústria ou que exerçam a sua profissão como físicos médicos nos hospitais.

Com esta *workshop* fomentou-se a troca de experiências,

partilhar saberes, divulgar iniciativas, discutir pontos de vista.



Como se pode ver no website – <http://www.i3n.org/mpw09/> - o programa científico incluiu quatro sessões – 1. *Radiation Therapy*, 2. *Radiation Protection*, 3. *Medical Imaging* e 4. *Education and Training*. Convidou-se para abrir cada uma delas um nome de referência internacional. Contam-se entre os convidados os Presidentes da IOMP (International Organization for Medical Physics) e da EFOMP (European Federation of Organisations for Medical Physics), respectivamente, Fridtjof Nüsslin (Technische Universität München) e Stelios Christofides (Nicosia General Hospital).

Acontece

JOVENS PORTUGUESES: OS MAIS INTERESSADOS DA EUROPA POR NOTÍCIAS SOBRE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Os jovens portugueses são os europeus mais interessados em notícias relacionadas com ciência e tecnologia, de acordo com um inquérito sobre a atitude dos jovens face à ciência divulgado em Bruxelas pela Comissão Europeia. 86% dos jovens portugueses afirmam-se interes-

sados em acompanhar o noticiário sobre ciência e tecnologia, o valor mais elevado na União Europeia, onde em média o interesse atinge 67% dos jovens. Relativamente aos temas científicos que mais atraem a atenção dos jovens europeus, Portugal é o país onde se verifica maior interesse pelas “descobertas médicas e corpo humano”, com 53% dos inquiridos a revelarem “muito interesse” e 37% “algum interesse”.

Os jovens portugueses são os segundos mais interessados em “novas invenções e tecnologias” (que suscita “muito interesse” em 66% dos inquiridos, valor apenas suplantado pelos lituanos), “tecnologias da informação e comunicação” (60%, também ligeiramente atrás da Lituânia) e “Terra e ambiente” (61%, valor que fica apenas atrás da Grécia).

O tópico científico que suscita menos entusiasmo entre os jovens portugueses é “o universo, o espaço e as estrelas”, de “muito interesse” para apenas 29% dos inquiridos, ainda assim o quarto valor mais elevado na União Europeia (UE), depois da Lituânia, da Eslovénia e da Hungria.

Em contrapartida, os jovens portugueses são dos europeus menos interessados em seguir notícias sobre política (35%, o quinto valor mais baixo da UE) e economia (41%, o sexto valor mais baixo).

O inquérito foi realizado em Setembro junto de 25 000 jovens da UE, com idades entre 15 e 25 anos, tendo em Portugal sido inquiridos 1 001 jovens pela Consulmark (online).

EXPOSIÇÃO: “O MUSEU DE CIÊNCIA MOSTRA AS SUAS COLECÇÕES”



O Museu da Ciência, continuando o esforço para mostrar e valorizar o nosso património, abriu no dia 2 de Abril às 18 horas esta mostra. A Directora do Museu de Ciência da Universidade de Lisboa convida todos a visitarem esta exposição. Esta exposição integra-se no esforço de conserva-

ção, inventariação e estudo das colecções, que se iniciou de uma forma sistemática em 2008, marcando o começo de uma divulgação para o público dessas colecções. Exibem-se sobretudo objectos do século XIX de física, química, matemática e astronomia.

Museus da Politécnica
Rua da Escola Politécnica, 56/58 1250-102 Lisboa
Tel: 21 392 18 60
Fax: 21 392 93 26

Vai acontecer

ASTRONOMIA EM CRESCENTE 2009

NUCLIO

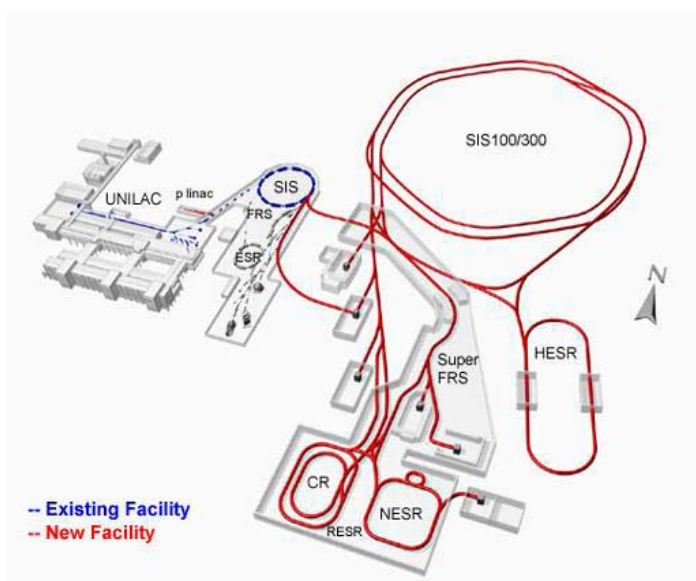
NÚCLEO INTERACTIVO DE ASTRONOMIA

Em 2009 celebra-se o Ano Internacional da Astronomia e o Ano de Darwin. Como não poderia deixar de ser, o NUCLIO – Núcleo Interactivo de Astronomia, com o apoio do Centro de Interpretação Ambiental da Ponta do Sal e da Câmara Municipal de Cascais tem um programa especial para celebrar os 400 anos da observação de Galileu Galilei e os 150 anos da publicação da Origem das Espécies de Charles Darwin. Cada mês será dedicado a um tema relacionado com as importantes descobertas destes dois cientistas que para sempre mudaram a nossa forma de ver o Universo. Esta actividade, que normalmente decorre no Sábado próximo da fase de Quarto-Crescente da Lua, é constituída por uma apresentação sobre um tema astronómico e, caso as condições meteorológicas o permitam, por uma sessão de observação nocturna com telescópios. A sessão de Julho decorrerá no dia 20, com uma intervenção de José Saraiva (CERENA, IST), e versará sobre o tema “Parabéns Apollo - Os 40 anos da Missão Apollo e a exploração da Lua”.

PARTICIPAÇÃO PORTUGUESA NO PROJECTO FAIR

Daniel Galaviz Redondo
galaviz@cii.fc.ul.pt

Para assegurar a participação portuguesa no que vai ser o maior centro de física nuclear europeu, a Facility for Antiproton and Ion Research (FAIR), as equipas de física nuclear experimental e teórica do Centro de Física Nuclear da Universidade de Lisboa (CFNUL) aderiram recentemente à colaboração R3B (Reactions with Relativistic Radioactive Beams), experiência estrela do futuro da investigação nuclear.



O estudo das propriedades de núcleos exóticos mediante reacções com feixes radioactivos a energias relativistas encontra-se entre os objectivos da colaboração. As equipas portuguesas contribuirão para a realização e análises de experiências sobre núcleos halo (núcleos muito exóticos com uma estrutura de um ou dois nucleões orbitando a grandes distâncias do *core* nuclear) em isótopos de berílio e carbono. O desenvolvimento de detectores para o futuro laboratório FAIR enquadra-se no trabalho das equipas portuguesas, com a simulação da resposta de diferentes materiais à interacção com fotões e protões e a optimização do desenho dum detector calorímetro a ser instalado no futuro *setup* experimental.

O projeto FAIR (http://www.gsi.de/fair/index_e.html) é uma ampliação do laboratório GSI, situado na cidade de Darmstadt (Alemanha), com um custo superior a mil milhões de Euros e no que participam 14 países e mais de 3000 cientistas de todo o mundo.

SPARC 2009

A Divisão de Física Atómica e Molecular da Sociedade Portuguesa de Física, em colaboração com o Departamento de Física da Universidade Nova de Lisboa (UNL), está a organizar o 6º Encontro da Comunidade “Stored Particles Atomic Physics Research Collaboration” (SPARC). Esta Comunidade reúne mais de 250 investigadores de diversos países, tais como Alemanha, França, Inglaterra, Estados Unidos da América, Rússia, China e Índia, da área da Física Atómica. O objectivo consiste na preparação de experiências que irão ser realizadas na instalação Facility for Antiproton Ion Research (FAIR) que está a ser construída na Alemanha, a qual envolve um esforço financeiro internacional de mais de 1100 milhões de Euros. O objectivo desta colaboração é o de reunir competências na área da física atómica de iões altamente carregados, abrangendo campos como a electrodinâmica quântica, campos intensos e interacções ião-matéria.

Prevê-se a participação de cerca de 70 cientistas neste Encontro, que decorrerá de 1 a 4 de Setembro de 2009, na Faculdade de Ciências e Tecnologia da UNL.

SPARC in LISBON

1- 4 September 2009
Lisbon, Portugal

Conference Topics

Critical and super-critical atomic fields
HCI in traps and rings for spectroscopy
Ions in intense laser fields
Ion-matter interactions
Technical developments
Organizational and financial issues

sparc



Organizing Committee

José Paulo Santos (Univ. Nova Lisboa)
Ana Costa (Univ. Lisboa)
Pedro Amaro (Univ. Nova Lisboa)
Mauro Guerra (Univ. Nova Lisboa)
Thomas Stöhlker (GSI, Darmstadt)
Reinhold Schuch (Alba Nova, Stockholm University)

<http://sparc2009.df.fct.unl.pt/>



Aluno controla o efeito de doses diversas na germinação de sementes e no crescimento da alpista.

Projecto Radiação Ambiente

LUÍS PERALTA E CONCEIÇÃO ABREU,
LIP

O PROJECTO RADIAÇÃO AMBIENTE ESTÁ A DECORRER NESTE ANO LECTIVO COM A PARTICIPAÇÃO DE 25 ESCOLAS DOS ENSINOS BÁSICO E SECUNDÁRIO DE TODO O PAÍS E DA REGIÃO AUTÓNOMA DOS AÇORES, EM PARCERIA COM O DEPARTAMENTO DE FÍSICA DA FACULDADE DE CIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE DE LISBOA E O LABORATÓRIO DE INSTRUMENTAÇÃO E FÍSICA EXPERIMENTAL DE PARTÍCULAS (LIP).

É a continuação do projecto que teve início no ano lectivo de 2007/2008 e que envolveu 10 escolas das regiões de Lisboa, Alentejo e Algarve, tendo sido financiado pela Ciência Viva, Agência Nacional para a Cultura Científica e Tecnológica, Programa Ciência e Inovação 2010 and ERDF (European Regional Development Fund).

Radiação, ambiente e vida são assuntos abordados no Projecto, o qual se centra nas Radiações Ionizantes. O Projecto chama a atenção para o facto de a radiação ionizante fazer parte da nossa vida diária. Alguma tem causas naturais, outras têm origem artificial. O Projecto pretende envolver alunos e professores das escolas básicas e secundárias para além das comunidades locais, aumentando o nível de conhecimentos sobre assuntos relacionados com a radiação ionizante.

O Projecto enfatiza a importância do radão que nos rodeia, pois representa cerca de 50% da dose da

radiação natural. Este gás forma-se naturalmente a partir do decaimento do urânio presente em diversos materiais rochosos e concentra-se em ambientes fechados, como caves e arrecadações dos edifícios. A sua presença pode ser detectada através de experiências simples realizadas pelos estudantes nas suas escolas.

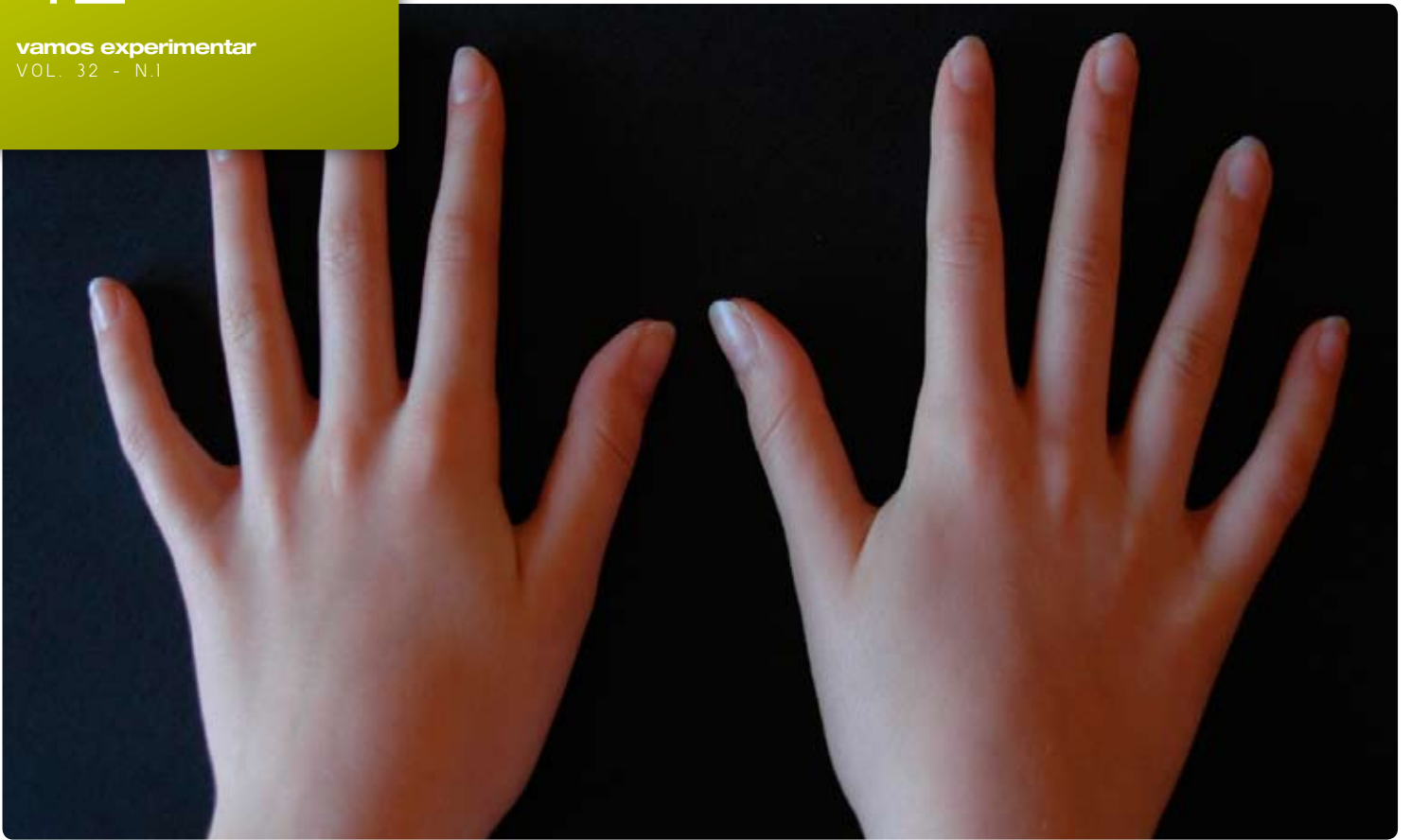
Outro tópico importante é o efeito que as radiações têm sobre os organismos vivos. O estudo da germinação de sementes irradiadas com diferentes doses de radiação X ou gama permite a introdução dos conceitos de esterilização benéfica e danos irreparáveis de uma forma fácil. Realizam-se ainda experiências com um carácter histórico, como seja a experiência de Becquerel que conduziu à descoberta da radioactividade. Esta é uma experiência que requer meios relativamente modestos: um vulgar filme para raios-X (o usado para radiografia dentária) e uma rocha radioactiva.

O Projecto distribuiu às escolas um kit constituído por uma caixa com rochas, um detector Geiger, sementes irradiadas e chapas fotográficas. As Escolas contribuem com computadores e o entusiasmo dos alunos e professores.

Toda a informação referente às experiências são partilhados através do sítio <http://www.lip.pt/radao>, o qual possibilita, através de um fórum, o debate de ideias sobre questões relacionadas com a radiação.

O Projecto também incentiva actividades extra-curriculares. No ano lectivo de 2007/08 realizou-se uma visita às minas de Nisa para recolha de material rochoso para as experiências e, em Maio, um Encontro com as escolas participantes, que teve lugar na Escola Secundária de Vendas Novas. Houve lugar à apresentação de trabalhos e à representação, por um grupo de alunos da escola anfitriã, de uma peça de teatro sobre o casal Curie. Este Encontro teve eco na imprensa escrita e em rádios locais.

Este ano o Encontro entre as escolas teve lugar no Colégio Marista de Lisboa, em Abril de 2009. Foi realizada ainda uma visita a um reactor nuclear.

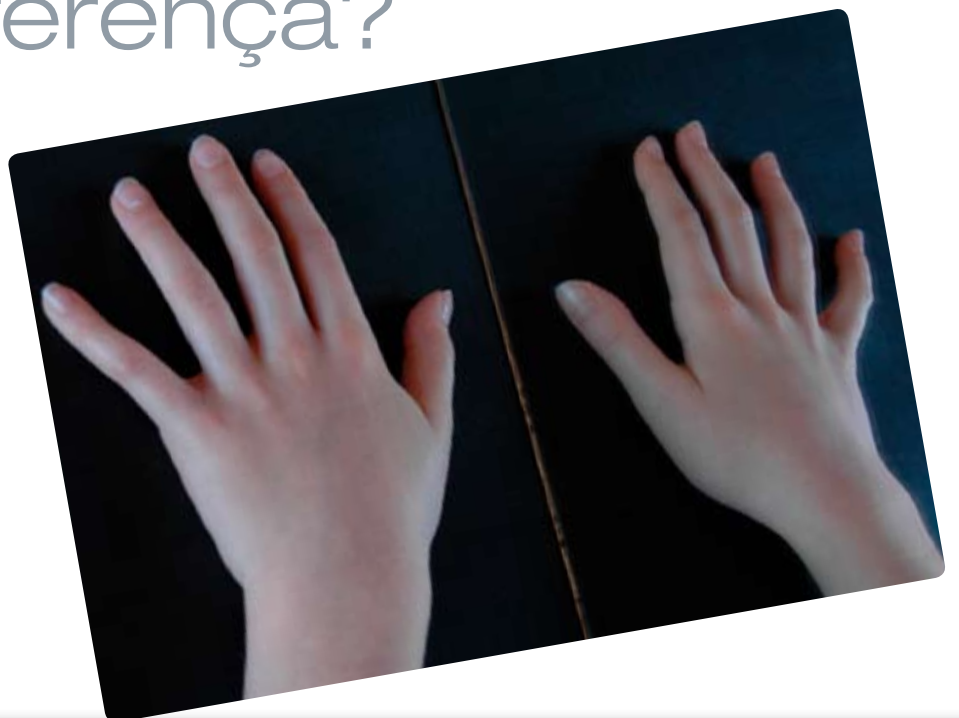


Mão direita e mão esquerda: qual é a diferença?

CONSTANÇA PROVIDÊNCIA

Material

- espelho
- uma folha de papel A4
- tesoura
- dois cliques
- canetas para pintar



O SENTIDO DE ROTAÇÃO DO HELICÓPTERO

Olha para a tua mão direita. Será igual à tua mão esquerda? Consegues sobrepor ambas as mãos? Não, elas são diferentes. Também não consegues enfiar na mão direita a luva da mão esquerda. Mas há uma semelhança que descobrirás com a ajuda de um espelho. Coloca a tua mão esquerda com o dedo polegar virado para o espelho e compara a sua imagem no espelho com a tua mão direita. São quase iguais! Dizemos que as mãos são quirais. “Quiral” é uma palavra que tem origem na palavra grega $\chi\epsilon\iota\rho$ que significa mão.

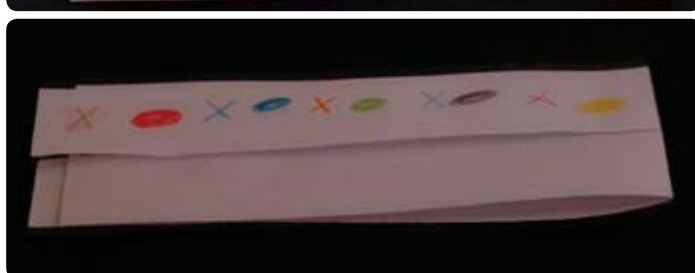
Objectos quirais, apesar de semelhantes, têm algumas propriedades diferentes. Com esta experiência muito simples vais descobrir uma, mas a natureza tem muitos exemplos.



Corta duas tiras de 6 cm de largura a todo o comprimento da folha A4. Faz um golpe de 12 cm de comprimento a meio de cada tira como indica a figura: estas duas tiras mais estreitas serão as asas de dois helicópteros. Enfeita a asa direita e a asa esquerda de cada um dos helicópteros de modo que a imagem no espelho da asa direita seja igual à asa esquerda.



Num dos helicópteros dobra a asa direita para trás e a esquerda para a frente vincando bem. No outro dobra a asa esquerda para trás e a direita para a frente. Enfia um clipe no centro da parte de baixo de cada helicóptero. Os teus helicópteros estão prontos! Segura um dos helicópteros colocando dois dedos por baixo das asas e larga-o. Repete o mesmo com o outro. Observa como voam: será que as suas asas giram para o mesmo lado?

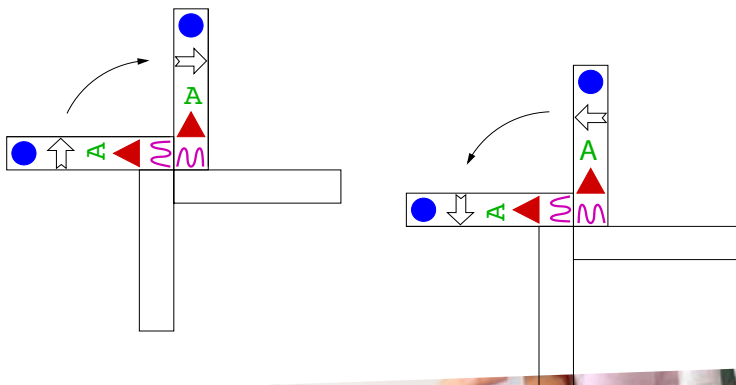




Se construíres tantos helicópteros de um tipo como do outro e os puseres todos a voar a probabilidade de apanhares um helicóptero que gira para a esquerda é igual à probabilidade de apanhares um helicóptero que gira para a direita. Há simetria relativamente ao número de cada tipo de helicópteros. Se apenas construíres helicópteros de um tipo deixa de haver simetria na tua sala.

O cientistas estão convencidos de que a simetria relacionada com a reflexão num espelho não é perfeita no Universo!

Não! Um gira para a direita e outro para a esquerda por serem objectos quirais.



Agradecimentos:

Agradeço à Professora Conceição Nave e a todos os alunos da turma do 1º A da Escola da Solum de Coimbra a colaboração na realização desta experiência e os lindos helicópteros.



Constança Providência é professora da Universidade de Coimbra e tem prestado especial atenção à educação científica durante a infância, através da realização de experiências. É co-autora e impulsionadora dos livros da série “Ciência a Brincar” (Bizâncio).



Figura 1 - Disco rígido aberto e disco de alumínio.

Um dispositivo para demonstrar a **levitação magnética**

CARLOS SARAIVA
ESCOLA EB 2, 3 DE VILA FRANCA DAS NAVES

O FENÓMENO DA SUPERCONDUTIVIDADE FOI DESCOBERTO EM 1911 PELO FÍSICO HOLANDÊS HEINE KAMERLING ONNES, QUE CONSEGUIU LIQUEFAZER O HÉLIO A 4 K PARA ARREFECER O MERCÚRIO E VERIFICOU QUE A SUA RESISTÊNCIA ELÉCTRICA ERA NULA A ESSA TEMPERATURA. A SUPERCONDUTI-

VIDADE DESPOLETOU UM ENORME INTERESSE NA COMUNIDADE CIENTÍFICA. OS SUPERCONDUTORES SÃO USADOS EM APARELHOS DE DIAGNÓSTICO MÉDICO (IMAGIOLOGIA POR RESSONÂNCIA MAGNÉTICA) E NOS ACELERADORES DE PARTÍCULAS, ONDE É NECESSÁRIO OBTER CAMPOS MAGNÉTICOS MUITO INTENSOS.

carlos.saraiva1@gmail.pt

6420-707, Vila Franca das Naves

No futuro, poderão ser utilizados no transporte de energia, evitando as perdas térmicas (efeito Joule), e na construção de computadores ultra-rápidos. Com a descoberta de materiais cerâmicos que se tornam supercondutores, usando o azoto líquido, que é fácil de manipular, como refrigerante (a 77 K), é possível demonstrar o fenómeno da levitação magnética em qualquer escola [1]. A suspensão de um íman de Neodímio-Ferro-Boro sobre um material supercondutor é uma clássica e espectacular demonstração deste fenómeno [2,3]. Há empresas de material didáctico que vendem kits para simular a levitação magnética [4] e na internet há sítios em que é possível visualizar o fenómeno [5]. Actualmente, é possível levitar objectos do dia-a-dia, como por exemplo: sapos, morangos, etc [6]. A levitação magnética também pode ser obtida com um anel metálico (geralmente cobre ou alumínio) colocado no secundário de um transformador. Este aparelho é conhecido na literatura por "Jumping Ring" [7] ou "Anel de Thomson" [8] porque foi construído pelo professor Elihu Thomson em 1887. Ao ligar o enrolamento primário a uma fonte de tensão alternada, a variação do fluxo no núcleo do ferro vai induzir uma corrente no anel metálico. De acordo com lei de Lenz, esta corrente opõe-se à causa que lhe deu origem, e vai produzir um campo magnético repulsivo entre o primário e o anel, o que explica a levitação.

Uma explicação mais detalhada deste fenómeno pode ser consultada na literatura [9]. Outra forma de obter a levitação magnética é colocar um íman por cima de um disco metálico em movimento [10]. Neste artigo, vou explicar como se pode construir um dispositivo para verificar este efeito, usando um computador obsoleto.

CONSTRUÇÃO DO DISPOSITIVO

O disco rígido do computador foi aberto para aproveitar o seu motor. Retirou-se o disco que "guarda" a informação e adaptou-se o disco de alumínio (Fig. 1).

O íman foi colado numa extremidade da régua e na outra foi colocado um contrapeso que se pode mover para a equilibrar. Colou-se um tubo de PVC na parte média da régua. O veio fixou-se a um suporte de madeira e introduziu-se no tubo.

DEMONSTRAÇÃO

O íman foi colocado por cima do disco de alumínio, perto da sua periferia, e o contrapeso foi regulado

MATERIAL NECESSÁRIO

Disco rígido de um computador em desuso com respectiva fonte de alimentação
 Placa de alumínio que se cortou para obter um disco
 Íman de Neodímio (Nd), Ferro (Fe) e Boro (B) (retirado do disco rígido)
 Veio de metal
 Régua de plástico, madeira, parafusos, tubo de PVC e cola

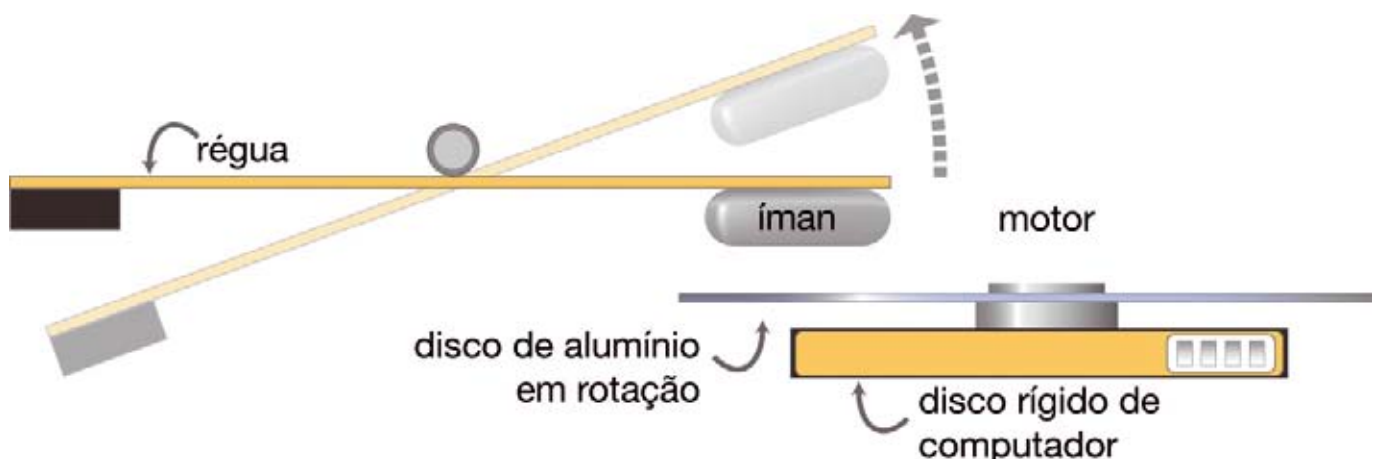


Figura 2 – Esquema do dispositivo.



Figura 3 - Levitação magnética.

para que a régua se mantenha na horizontal. Com o motor do disco rígido desligado a régua não se movimenta. Ao ligar o motor, o disco de alumínio roda, o íman é repellido e a régua sofre inclinação. O dispositivo está esquematizado na Fig. 2, e na Fig. 3 pode ver-se uma fotografia. Com um dedo, ao tentar aproximar o íman do disco, verifica-se que há uma força magnética. É conveniente repetir a demonstração com um disco de material não condutor, por exemplo, de plástico. Neste último caso, os alunos podem concluir que não há levitação magnética.

A inclinação (desvio) do íman depende da intensidade do campo magnético e da velocidade angular do disco. Este efeito é usado em velocímetros de veículos para medir o valor da velocidade.

EXPLICAÇÃO

Ao rodar o disco de alumínio na presença do íman, o fluxo magnético varia e surge uma força electromotriz induzida (Lei de Faraday). As correntes induzidas pelo íman criam no disco um campo magnético que vai opor-se ao campo do íman (Lei de Lenz). O íman fica sujeito a uma força magnética repulsiva (oposta ao seu peso) que o faz levitar (Fig. 3). As correntes induzidas em massas metálicas são geralmente designadas por correntes de Foucault ou correntes de remoinho (*eddy currents*).

TRAVAGEM MAGNÉTICA

Pode fazer-se uma outra demonstração com o mesmo

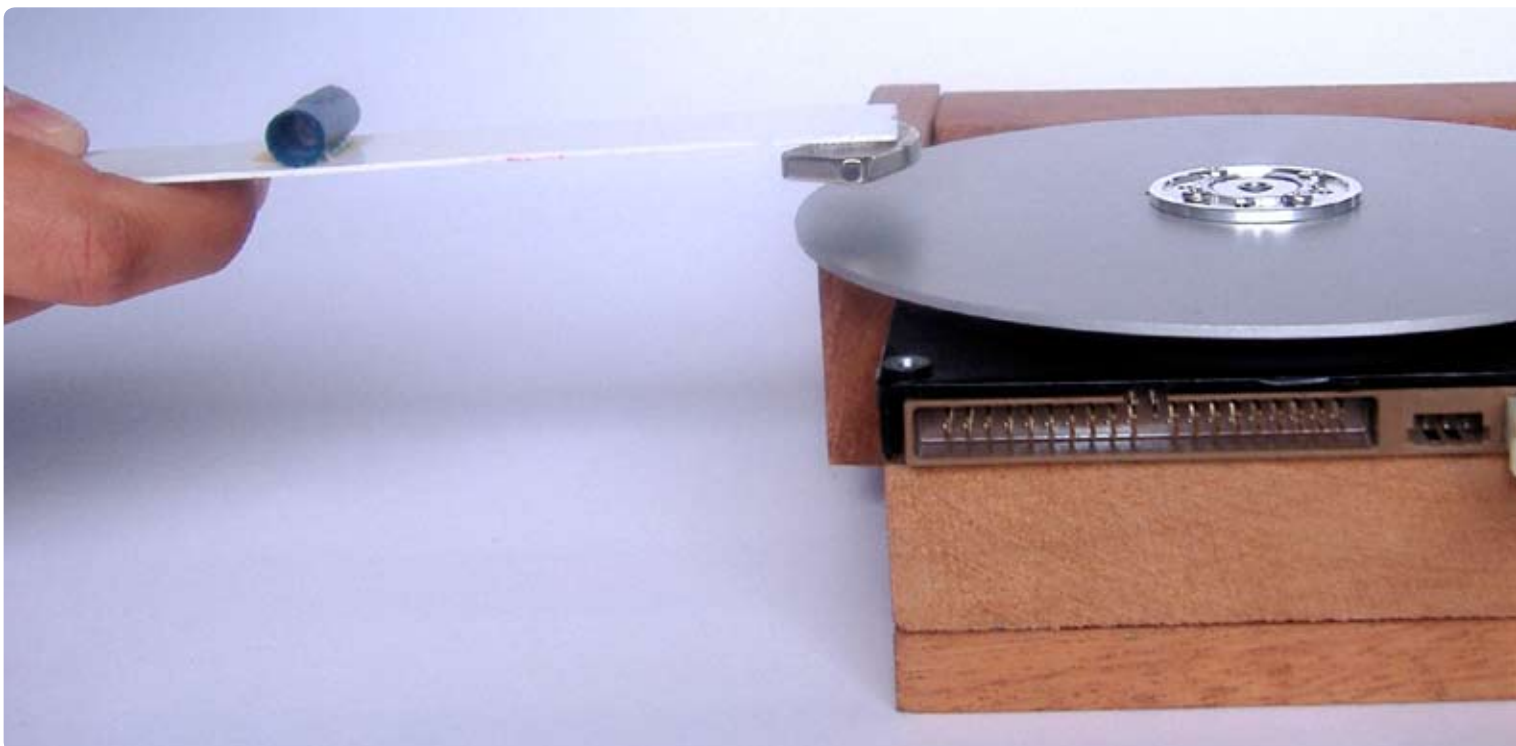


Figura 4 - Travagem do disco de alumínio por acção magnética.

dispositivo, para simular a travagem de peças metálicas por acção de campos magnéticos [11]. Para isso, ligar o motor e esperar que atinja uma velocidade uniforme. De seguida desligá-lo e contar o tempo que demora a parar (demorou aproximadamente 16 segundos). Repetir o procedimento anterior, mas depois de o desligar, aproximar o íman da sua periferia (Fig. 4) e contar novamente o tempo que demora a parar (demorou apenas 3 segundos!). Quando o disco

se movimenta, há regiões que ficam sujeitas a um aumento de fluxo magnético, e outras em que se verifica uma diminuição. O íman induz correntes eléctricas no disco de alumínio em movimento que obedecem à lei de Lenz. Devido à interacção entre as correntes induzidas e o campo magnético do íman, o disco vai parar.. A travagem magnética tem várias aplicações práticas [12,13].

CONCLUSÃO

Este dispositivo pode ser apresentado aos alunos como ponto de partida para pesquisa e aprofundamento do fenómeno da levitação magnética. Na rubrica “Física em acção” do programa do 12º ano [14], sugere-se que os alunos investiguem o fundamento físico do funcionamento deste fenómeno. Pode também ser utilizado no ensino secundário para leccionar a “Indução Electromagnética” (Leis de Faraday e de Lenz).

Os manuais escolares são uma fonte importante de informação tanto para professores como para alunos e reflectem a pedagogia e os métodos de ensino da época [15]. Os manuais de Física actualmente adoptados no 12º Ano fazem referência à levitação magnética mas não propõem qualquer demonstração do fenómeno. A divulgação deste artigo permite que nas escolas seja possível, com recurso a materiais do dia-a-dia, simular este fenómeno de relevância social e tecnológica [16] e de investigação científica muito actual. A levitação magnética é o princípio do funcionamento utilizado em comboios de alta velocidade. Estes comboios

– designados por Maglev – já são usados no Japão e na Alemanha. Os campos magnéticos muito intensos fazem levantar o comboio, não existindo contacto com os carris, o que elimina o atrito, permitindo atingir velocidades da ordem dos 500 km/h [17]. É importante salientar que para realizar esta demonstração é conveniente usar ímanes de Neodímio-Ferro-Boro (Ne-Fe-B) porque criam campos magnéticos bastante intensos e utilizar um motor que rode com uma grande velocidade. O motor do disco rígido roda com 7200-rpm e o íman de Neodímio-ferro-boro (aproveitado do disco duro) cria um campo magnético da ordem dos 0.2 T [18], o que permite realizar esta demonstração. Os ímanes de aço magnetizado usados em laboratórios escolares ou os ímanes de frigoríficos criam campos magnéticos muito menores.

Referências:

- [1] Fernanda Ostermann e Letícia Ferreira, “Preparing teachers to discuss superconductivity at high school level: a didactic approach”, *Physics Education* 41(1), 34-41, (Jan. 2006).
- [2] Masayoshi Wake, “Floating magnet demonstration”, *The Physics Teacher* 28, 395-397 (1990).
- [3] P. J. Ouseph, “Levitation of a magnet over a superconductor”, *The Physics Teacher* 28, 205-209 (1990).
- [4] <http://www.leybold-didactic.de/phk/produkte.asp>
<http://www.wondermagnet.com/superconductor.html>
<http://www.arborsci.com/detail.aspx?ID=700>
<http://www.futurescience.com/sc.html>
<http://www.sciencekit.com/search.asp?t=ss&ss=levitation&c=0>
- [5] <http://www.youtube.com/watch?v=0vKrkhilXns>
- [6] <http://www.hfml.ru.nl/levitation-movies.html>
- [7] Jonathan Hall, “Forces on the jumping ring”, *The Physics Teacher* 35, 80-83 (1997).
- [8] Arthur. R. Quinton, “The ac repulsion demonstration of Elihu Thomson”, *The Physics Teacher* 17(1) 40-42 (1979).
- [9] E. J. Churchill e J. D. Noble, “A demonstration of Lenz’s Law?”, *American Journal of Physics* 39, 285-287 (Mar. 1971); D. J. Sumner e A. K. Thakkrar, “Experiments with a ‘jumping ring’ apparatus”, *Physics Education* 7(4), 238-242 (Maio 1972); P. Ford e R. Sullivan, “The jumping ring experiment revisited”, *Physics Education* 26(6), 380-382 (Nov. 1991).
- [10] Thomas D. Rossing e Jonh R. Hull, “Magnetic Levitation”, *The Physics Teacher* 29, 552-562 (1991).
- [11] Carlos Saraiva, “Demonstrating Lenz’s Law with recycled materials”, *The Physics Teacher* 44,182-183 (2006).
- [12] Carlos Saraiva, “Uma demonstração simples de correntes induzidas em massas metálicas”, *Gazeta de Física* 27(1), 43-45 (2004).
- [13] Carlos Saraiva, “A simple way to teach magnetic braking”, *Physics Education* 42(3), 330-331 (Jul. 2007).
- [14] Esmeralda Cardoso et al., *Projecto de Programa da Disciplina de Física 12º ano, Curso Científico-Humanístico de Ciências e Tecnologias, MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO - Departamento do Ensino Secundário* (2004).
- [15] Carlos Saraiva, Isabel Malaquias e Manuel Almeida Valente, “O electromagnetismo nos manuais de física liceais entre 1855 e 1974”, *Gazeta de Física* 30(2), (2007).
- [16] Ana Serra, Jaime Figueiredo e Diogo Archer, “Metro voador”, *Revista Única do Expresso*, 40-41 (Out.2004).
- [17] Colin Gough, “High temperature superconductors take off”, *Physics Education* 33, 38-46 (1998).
- [18] Carlos Saraiva, “A simple demonstration of Lenz’s Law”, *Physics Education* 41, 288 (2006).

De F=ma até MBA:

as carreiras de dois físicos tornados gestores

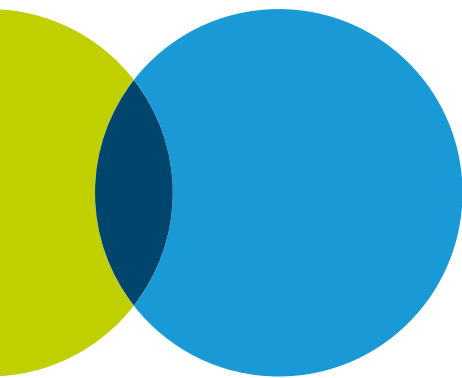
GONÇALO FIGUEIRA

ESCOLHER UMA FORMAÇÃO EM FÍSICA COMO PORTA DE ENTRADA PARA O MUNDO DA GESTÃO EMPRESARIAL PODE NÃO SER A ESCOLHA MAIS LINEAR, MAS COM CERTEZA DÁ ACELERAÇÃO INICIAL - É O QUE AFIRMAM OS Nossos dois entrevistados, que seguiram precisamente esse percurso. CARLOS FRAGA (CF) E IVO VIEIRA (IV), RESPECTIVAMENTE LICENCIADO E DOUTORADO EM FÍSICA, FREQUENTAM ACTUALMENTE O PROGRAMA LISBON MBA (UNIVS. NOVA E CATÓLICA DE LISBOA), ALÉM DE SEREM PROFISSIONAIS DE GESTÃO. NESSES DEPOIMENTOS, RECORDAM COMO NASCEU O INTERESSE PELA CIÊNCIA, DESCRIVEM-NOS AS SUAS CARREIRAS E EXPLICAM-NOS COMO A SUA EDUCAÇÃO - CIENTÍFICA E NÃO SÓ - CONTRIBUI PARA DAR UMA PERSPECTIVA MAIS ABRANGENTE DA DINÂMICA DOS NEGÓCIOS.



CARLOS FRAGA, natural dos Açores, 29 anos. Após completar o ensino secundário na ilha do Faial foi estudar para a Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, onde se licenciou em Física. Neste momento frequenta o programa Lisbon MBA part-time, nas Universidades Nova e Católica, enquanto desempenha as funções de Business Line Manager na Nokia Siemens Networks.

Your Talent. Our MBA Expertise.*



the **LISBONMBA** part time católica | nova

- 2 anos part-time
- Corpo docente nacional e internacional
- Desenvolvimento de competências inter-pessoais
- Diversidade de métodos de ensino
- Programa acreditado internacionalmente
- Fortes ligações com o mundo empresarial
- Viagem internacional anual

Mais informações em www.thelisbonmba.com/part-time

LEVERAGING LEADERSHIP TALENT

UNIVERSIDADE
CATÓLICA
PORTUGUESA



FACULDADE DE
CIÊNCIAS
ECONÓMICAS E
EMPRESARIAIS

UNIVERSIDADE
NOVA
DE LISBOA
ECONOMIA
GESTÃO

Accredited by:



Quando e como é que surgiu o seu interesse pela física?

CF – O meu interesse pela física surge muito cedo, porque a minha mãe leccionava as disciplinas de Física e Física-Química. Mas, se tiver que definir uma altura da minha vida em particular, diria o oitavo ano, onde tive o primeiro contacto académico com a física.

IV – Desde miúdo que eu queria ser inventor antes mesmo de saber o que era a física. Tinha vontade de criar novas máquinas que ajudassem o homem a melhorar a sua vida. Quando entrei no liceu e conheci a física, nitidamente senti que era a minha cadeira preferida juntamente com a matemática. Adorava brincar com as fórmulas e sentir que dominava a compreensão das leis do universo.

O que o levou a estudar física, e qual a sua área preferida?

CF – Em primeiro lugar, o facto de a minha mãe estar ligada à área influenciou-me imenso. Mas sem dúvida que o facto da física procurar explicar o mundo entusiasmou-me muito. A minha área de interesse preferida, tal como muitos físicos, é a astrofísica.

IV – Gostava muito de física e queria seguir carreira na área da aeroespacial. Sabia que a Física era muito abrangente e que podia ser suficientemente polivalente para trabalhar em qualquer área. Fiquei a gostar muito da optoelectrónica, dos plasmas e do electromagnetismo.

Onde estudou física, e quais as impressões que teve?

CF – Como já mencionei, licenciiei-me na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, e tive a fantástica oportunidade de estrear algumas das novas instalações de que a FCUL dispõe hoje em dia. Nomeadamente o Edifício C8, que tem uma qualidade incrível a todos os níveis. No entanto, tenho de realçar a qualidade dos professores/investigadores associados à FCUL e ao Departamento de Física em concreto. Sem dúvida que aprendi muito com todos, tanto ao nível académico como pessoal.

IV – Obtive a minha licenciatura na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa e o doutoramento no Instituto Superior Técnico no GoLP – Grupo de Lasers e Plasmas. Comecei logo a perceber que afinal estávamos ainda muito longe de compreender o universo e que pessoalmente já não conseguia dominar toda a Física já conhecida. Comecei a perceber que precisava de me especializar numa área.

Qual foi a sua evolução profissional a partir de então?

CF – Desde que me licenciiei, decidi que queria ter um contacto directo com o que se fazia nas empresas, e não seguir o percurso académico. Decido entrar no mundo das telecomunicações e fui contratado para a antiga Siemens COM para desempenhar as funções de Technical Writer em projectos ligados à tecnologia DWDM (área da óptica). Pouco tempo depois, fiz algumas formações em gestão de projectos e assumi tarefas de gestão de projecto dentro da mesma área. Quando a Siemens COM decide juntar-se à Nokia Networks para criar o que é hoje a Nokia Siemens Networks, passei a assumir funções de Business Line Manager responsável global por toda a documentação de cliente de um produto DWDM.

IV – Tive um percurso muito variado. Fui investigador no INETI tendo participado no PoSAT-1, o primeiro satélite português. Mais tarde fui missionário em Moçambique tendo tido a oportunidade de leccionar Física a alunos da 11ª e 12ª classe. Depois fiz simulação de plasmas no GoLP/IST no âmbito da minha tese de doutoramento. Em 2002 decidi então fundar a LusoSpace para poder desenvolver equipamento para o espaço.



IVO VIEIRA, 37 anos. Licenciado (Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa) e doutorado (Instituto Superior Técnico, Univ. Técnica de Lisboa) em Engenharia Física. Actualmente é Director Geral da LusoSpace.

Como se deu a decisão de vir a realizar um MBA, e quais as suas motivações?

CF – A minha carreira profissional teve sempre uma evolução direccionada a funções de gestão. Assumi desde muito cedo tarefas de gestão de projecto e de gestão de equipa. Esta evolução quase que natural, o incentivo do meu chefe, e uma vontade constante de aprender mais, levaram-me a optar por candidatar-me ao Lisbon MBA Part-time. Nesta fase senti que, para continuar a evolução que a minha carreira profissional estava a ter, precisava de aprender mais sobre economia, finanças, marketing, ou simplesmente conviver com pessoas com imensas experiências para partilhar, desde colegas, professores, a Alumni.

IV – Sentia que como Director Geral faltavam-me bases de gestão para melhorar o meu desempenho profissional. Cada vez mais tinha uma ânsia de aprender e absorver conhecimento. Conheci várias pessoas que já tinham feito MBA e percebi que esse era o caminho certo.

O que é que as suas funções actuais envolvem?

CF – Neste momento desempenho a função de Business Line Manager responsável global pela documentação de cliente associada a um produto DWDM. A responsabilidades desta função implica planeamento e gestão de budget, gestão dos projectos associados ao produto, coaching e mentoring dos colegas, contratação de colaboradores, participação na equipa de gestão estratégica da área de DWDM em Portugal, ou criação de especificações técnicas de produto.

IV – Simultaneamente tenho que gerir pessoas, planear actividades, antecipar angariação de contratos, desenvolver uma estratégia para a empresa e estar sempre atento. O mais interessante é sobretudo visionar novas tecnologias e tendências e desenvolver novas ideias. Isso é muito gratificante mas é preciso estar disposto a ser 5% criativo e 95% gestor para que os 5% de criatividade se transformem em realidade útil para as pessoas. Uma coisa que nunca gostei foi desenvolver projectos que ficam na gaveta.

Em que é que a sua formação em física contribui para essas funções?

CF – A contribuição técnica é óbvia, visto que estou envolvido em projectos ligados ao mundo da fibra óptica. Mas sem dúvida que as experiências que partilhei com os meus colegas e professoras da FCUL e o desenvolvimento da minha capacidade analítica e espírito crítico em muito tem contribuído ao longo da minha carreira, e com certeza que vão continuar a contribuir.

IV – A LusoSpace desenvolve e produz tecnologias de ponta e seria muito complicado ser director geral nesta empresa sem ter bases fortes em física ou outra ciência exacta. A física tem a vantagem de me dar um panorama geral e estar

à vontade tanto em electrónica, mecânica, materias, radiações e óptica. Já tive colaboradores de várias áreas e, de facto, nenhuma é tão abrangente como a Física.

Quais os acontecimentos que considera mais marcantes da sua carreira?

CF – Apesar de conseguir identificar muitos momentos marcantes na minha carreira profissional, destaco três. Primeiro, a minha experiência, enquanto estagiário da Siemens, nos EUA. Foi-me oferecida a oportunidade de estagiar com um dos gurus de DWDM da Siemens que estava na Flórida. Em segundo lugar, a criação da Nokia Siemens Networks, onde tive a oportunidade de observar e acompanhar o nascimento de uma nova empresa, com uma nova cultura. E, finalmente, a minha entrada para o Lisbon MBA Part-time. Claramente, consigo identificar um desempenho profissional pré, e pós entrada no MBA.

IV – Houve vários, mas considero que a minha experiência como missionário foi das mais importantes. Por um lado, tive oportunidade de voltar à origem da Física ao ensinar as bases. Por outro lado, tive que criar experiências na província mais pobre e mais isolada de Moçambique, com poucos recursos. Foi muito gratificante desenvolver, por exemplo, um registador de queda livre com uma agulha colada a um altifalante, por sua vez alimentado por um transformador AC, de modo a que essa mesma agulha picasse uma fita de papel a uma frequência de 50 Hz. Finalmente, em termos comportamentais aprendi a gerir em ambientes poucos organizados e com vários obstáculos. Sem dúvida que esses dois anos permitiram que eu crescesse muito profissionalmente – sem falar, claro, do lado espiritual.

Se pudesse voltar atrás, tornaria a escolher o curso de física?

CF – Sem dúvida. Por todas as razões já apresentadas anteriormente, e muitas mais, identifico que uma parte da pessoa que sou devo-a à minha licenciatura em física e à passagem pela FCUL.

IV – Sim, sem dúvida.



Teoria de Cordas: Ata ou desata?

FILIPE MOURA

PUBLICAMOS NESTE NÚMERO UMA SEGUNDA PARTE DE EXCERTOS DO DEBATE, CONDUZIDO POR FILIPE MOURA (FM), EDITOR DA GAZETA DE FÍSICA, ENTRE LUIS ALVAREZ-GAUMÉ (CERN, GENEBRA), DIETER LÜST (LUDWIG-MAXIMILIANS UNIVERSITY) E PETER WOIT (COLUMBIA UNIVERSITY), ONDE, A PROPÓSITO DA CONFERÊNCIA “A CIÊNCIA TERÁ LIMITES?”, REALIZADA NA FUNDAÇÃO CALOUSTE GULBENKIAN, SE DISCUTIU A VALIDADE DAS TEORIAS DE SUPERCORDAS. A PRIMEIRA PARTE DO DEBATE FOI PUBLICADA NA GF, VOL. 31, Nº 3 (2008).

PODE ENCONTRAR A TRANSCRIÇÃO INTEGRAL DO DEBATE EM [HTTP://WWW.GAZETADEFISICA.SPF.PT](http://www.gazetadefisica.spf.pt)

PARA MAIS INFORMAÇÃO, CONSULTAR A PÁGINA DA CONFERÊNCIA, DISPONÍVEL EM: [HTTP://WWW.GULBENKIAN.ORG/CIENCIATERALIMITES/MAIN.HTM](http://www.gulbenkian.org/cienciateralimites/main.htm)

CRÉDITOS DAS FOTOGRAFIAS: ORLANDO TEIXEIRA, FUNDAÇÃO CALOUSTE GULBENKIAN.

WOIT – O que é que pensa efectivamente sobre o livro de Susskind, “A Paisagem Cósmica”? Devo dizer que acho extraordinário que ele se tenha metido naquilo e continue a desenvolver aquela ideia. Acho que é um desastre para a física. Não há uma palavra neste livro sobre a forma de testar esta ideia. Ele está a promover uma coisa que não é ciência. E eu não estou a abordar esta questão de um ponto de vista pessoal...

AG – É assim que os americanos, físicos ou não, funcionam. Se esse livro tivesse sido escrito noutra sítio qualquer, ninguém estaria hoje a falar sobre ele. Este é um aspecto sociológico que abrange algumas pessoas na comunidade americana. Eu não gosto dos livros de Brian Greene [N.E.: “O Universo Elegante”, edição portuguesa da Gradiva] e de Lisa Randall [N.E.: “Warped Passages: Unravelling the Universe’s Hidden Dimensions”, ed. Ecco]. O público deve compreender que vender ideias que não compreendemos integralmente é pura especulação. Eles não dizem que estas ideias estão em elaboração. Acho que estão a ser intelectualmente desonestos, só para ganharem dinheiro. Eu não me quero meter nisso.

FM – Não acha que a sua crítica se poderá aplicar à forma como a teoria de supercordas é promovida nos EUA, à propaganda que é feita? Talvez critique mais isso do que a própria teoria?

WOIT – Há uma enorme quantidade de programas de televisão e tudo o mais sobre a teoria de supercordas, que dão de facto uma visão muito incorrecta. Mas devo dizer que, enquanto isso foi acontecendo, ao longo dos anos

Não temos realmente ainda uma teoria não-perturbativa

AG - [...] Se olharmos para qualquer teoria em física com quebra de simetria, todos os diferentes vácuos que surgem de um potencial são diferentes estados ligados.

WOIT - Nós não sabemos realmente, isso é o que gostaríamos que fosse verdade. Mas realmente não sabemos, não temos efectivamente uma teoria não-perturbativa que nos diga que isto deve ser verdade...

LÜST - Eu estou de acordo, evidentemente, que não estudámos todos os pormenores, não conhecemos o mecanismo preciso de como um efeito não-perturbativo contribui também para seleccionar o estado fundamental. Afinal de contas, poderá haver um mecanismo de selecção que ainda não conhecemos. Mais uma coisa: na sua palestra deu de certo modo a impressão de que a teoria de supercordas e a Teoria-M são mais ou menos flexíveis, que a certa altura as pessoas acrescentavam branas só porque gostavam delas, mas não é bem assim. Não se pode debater estas estruturas: elas são efeitos não-perturbativos intrínsecos à teoria. Obviamente, ao desenvolver a teoria, a certa altura percebe-se que esses efeitos são importantes, mas não somos nós que os adicionamos, eles estavam

lá desde o início, mas só foram descobertos mais tarde. [A teoria não mudou, apenas foram descobertas novas soluções.]

AG - Consideremos as teorias de campo a 4 dimensões que contêm solitões [que foram descobertos mais tarde]. Claro que levou algum tempo para as pessoas perceberem que os solitões fazem parte da teoria, que não foram simplesmente atirados lá para dentro, mas que fazem parte dela... Julgo que isto é importante, porque quando se fala de algo para fazer uma crítica, é preciso compreender as coisas muito bem e também não fazer uma crítica puramente negativa.

WOIT - Eu tenho vindo a observar a forma como as pessoas vão fazendo estas coisas. Parece-me que você está também a simplificar excessivamente a situação. Nós não sabemos exactamente o que é uma teoria não-perturbativa...

AG - Eu nunca disse isso.

90, não vi muitos teóricos de cordas preocupados com a questão. De certa maneira, isso ajudou a incentivar muita gente a estudar teoria de supercordas e teve muitos efeitos positivos para eles. A princípio, eles ainda resmungaram um pouco, mas realmente não vi ninguém ficar muito aborrecido com o Brian Greene ...

É PRECISO INCENTIVAR AS PESSOAS A ENCONTRAR NOVOS MÉTODOS PARA RESOLVER OS PROBLEMAS

AG - Olhem, eu estou realmente farto de tudo isto. Não é assim que se faz ciência. Temos de provar esta teoria, fazendo previsões claras que sejam construtivas, como aconteceu com a Cromodinâmica Quântica (QCD). Ainda não o fizemos. Nós não somos estúpidos. Algumas pessoas estão a ser desonestas no que diz respeito a preencher este buraco, porque são demasiado ambiciosas. As pessoas estão agora a dedicar-se menos à teoria de supercordas, porque há experiências que são interessantes e estimulantes. E isso vai atrair os jovens interessados em determinar

como é que estes resultados são produzidos pela teoria de supercordas. Se pensarmos nas teorias de calibre dos anos 60, havia indivíduos extremamente brilhantes a trabalhar nelas, mas eram poucos. E depois saíram dois artigos e houve a QCD... Logo que surgiu a QCD, começou uma segunda fase.

WOIT - Para uma coisa como a QCD, é preciso voltar ao que aconteceu nos anos 60, porque existe uma certa analogia: havia uma teoria que não estava a funcionar, mas era o melhor que as pessoas tinham. Havia um pequeno número de pessoas a fazer teorias de calibre, embora isso fosse impopular. A questão que me preocupa é: o que é que esta comunidade pode fazer para garantir isso? Talvez haja alguma coisa que eu possa fazer em teoria de calibre, talvez haja alguma ideia diferente, talvez a história se repita e possamos encontrar uma nova QCD. O que podemos fazer para incentivar as pessoas a trabalhar na direcção que maximizará a possibilidade de isso acontecer?

AG - É preciso incentivar as pessoas a encontrar novos métodos para resolver os problemas. Quanto tempo é que isso vai demorar? Poderíamos dizer:

“Eu quero tentar ver determinados fenómenos, por isso vou construir um novo acelerador por cem mil milhões de dólares e quero obter resultados em dois anos”. Mas não é assim que a ciência fundamental funciona. Por exemplo, agora temos o observatório LISA, os detectores de ondas gravitacionais, os telescópios gravitacionais. Poderemos obter uma grande quantidade de informação sobre gravidade quântica a partir deles. Ou, pelo contrário, poderemos não obter nada. Mas vamos com certeza obter uma grande quantidade de dados para analisar.

O MUNDO COMO MERA PAISAGEM DE POSSIBILIDADES E NÓS APENAS PARTE ALEATÓRIA DESSA PAISAGEM, É UMA IDEOLOGIA PARA JUSTIFICAR O FRACASSO

WOIT - Há duas coisas que são, para mim, as questões principais. Uma é a situação das estruturas onde as pessoas trabalham, e aquilo que isto pode parecer a alguns jovens brilhantes que estão a iniciar-se nesta matéria. Eles são confrontados com o assunto em que vão trabalhar, não há por aí muitas ideias boas e não há, efectivamente, para além da comunidade da teoria de supercordas, outras comunidades alternativas vigorosas, onde eles possam entrar facilmente e começar a trabalhar noutra coisa. Temos a gravidade quântica em loop, onde há uma pequena comunidade; mas estas comunidades não existem realmente, de modo que as

PETER WOIT (WOIT) é doutorado em física teórica de altas energias pela Universidade de Princeton. É leitor de Matemática na Universidade de Columbia. É autor do blogue de crítica à teoria de supercordas “Not Even Wrong”, publicado em livro em 2006.



as pessoas ficam numa posição em que estão mais ou menos a trabalhar por sua conta numa ideia que é muito pouco provável que funcione, que é muito difícil e que, muito provavelmente, quase de certeza, poderá destruir a sua carreira, e então é que não vão mesmo conseguir emprego. Podem abordar os difíceis problemas que persistem na teoria quântica de campo ou na gravidade quântica ou, em alternativa, podem simplesmente juntar-se à comunidade da teoria de supercordas. Há ali uma comunidade vigorosa e há problemas simples em

que se pode trabalhar e, se se for esperto, é possível fazer alguns progressos relativamente aos problemas internos e aí, sim, é possível ter uma carreira. Acho que a estrutura de recompensa que está a ser criada para as pessoas é problemática, se considerarmos que, em termos de resolver certos problemas, a teoria de supercordas não está a funcionar e que temos de incentivar as pessoas a procurar noutro lado. Esta é uma questão.

A outra questão é toda esta ideia de paisagem - aquilo que eu vejo é uma ideologia que se destina a justificar este fracasso: o mundo é uma mera paisagem de possibilidades e nós estamos apenas no fundo de alguma parte aleatória dessa paisagem, por isso, nunca poderemos pretender explicar tudo isto. A questão relativa a Leonard Susskind não é tanto que ele se esteja a auto-promover com livros populares, mas os seus grandes esforços no seio da comunidade dos físicos para tentar promover esta ideologia particular e tentar levar as pessoas a acreditar que esta é a maneira certa de pensar. Ao mesmo tempo, ele é totalmente incapaz de apresentar qualquer espécie de ideia, mesmo vaga, sobre como é que será capaz de prever alguma coisa. Esta atitude é muito prejudicial e perigosa para a física, do ponto de vista das pessoas de fora. As pessoas exteriores à física lêem o livro de Susskind e dizem: isto é um disparate. Posso dizer-vos o que acontece quando falo com os meus colegas de matemática ou com físicos que começam a discutir o princípio antrópico: nota-se uma expressão de repugnância na cara das pessoas, diz-se a palavra “antrópico” e elas sentem-se indignadas. A física está efectivamente a perder grande parte do seu apoio e credibilidade... devido a este disparate do princípio antrópico e da paisagem e do modo como este tipo de ideologia está a ser impingida. Estas são as duas...

FM - Não lhe parece que o problema verdadeiro é apenas o lado mediático da questão?

WOIT - Não me parece que seja só mediático. Penso que o que se está a passar na Universidade de Stanford, com Linde e Susskind e toda aquela gente lá - é que a ideologia que eles optaram por promover dentro da comunidade e para si próprios é perigosa.

LÜST - É uma situação problemática, concordo, mas eles querem sublinhar que é possível resolver problemas na QCD a partir da teoria de supercordas, se se trabalhar de baixo para cima. Obtêm-se coisas que são testáveis.

WOIT - Não são realmente testáveis no sentido convencional do termo.

É MAIS IMPORTANTE RELACIONAR FÍSICA DE PARTÍCULAS COM A TEORIA DE SUPERCORDAS DO QUE ESPECULAR



DIETER LÜST (LÜST) é doutorado em física pela Universidade de Munique. É professor catedrático de física matemática na Universidade Ludwig-Maximilians e director do Instituto Max Planck em Munique. É coordenador da Rede Europeia de Ensino e Investigação “Constituintes, Forças Fundamentais e Simetrias do Universo”, um projecto Marie Curie.

SOBRE QUANTOS UNIVERSOS EXISTEM

LÜST - Não se tem uma previsão de um número, não se prevê que a massa do electrão seja tal e tal, mas eu julgo que se obtêm cenários que se podem testar para certas características e temos de ver o que as experiências nos dirão no futuro. A imagem da paisagem é problemática, estou de acordo, mas não gostaria de dramatizar isso. A teoria de supercordas é física de partículas e é possível fazer declarações sobre a forma como a física de partículas se relaciona com a teoria de supercordas, o que é provavelmente um aspecto mais importante do que especular sobre quantos universos existem...

AG - A mecânica quântica, por exemplo, também tem muitos estados fundamentais...

WOIT - Se quisermos prosseguir a investigação em certas matérias, temos de ter pelo menos alguma visão conjectural: é essa a prova de que se está a avançar. O que eu não vejo agora, nesta fase da teoria de supercordas, é qualquer prova real de que esta é uma ideia que está a avançar, em termos de fazer previsões efectivas. Podemos continuar a dizer “nós não a entendemos, vamos simplesmente continuar a estudá-la, porque não a entendemos”.

AG - O que acha que se deve fazer? As pessoas deveriam ser proibidas de trabalhar em teoria de supercordas? Deve haver alguma autoridade a decidir que as pessoas não trabalham em teoria de supercordas?

WOIT - Não! Não!

AG - As pessoas trabalham naquilo que querem!

WOIT - Mas eu acho que as pessoas também devem estar muito mais conscientes daquilo que está a funcionar e daquilo que não está, e aprender muito mais sobre há quanto tempo isto dura e o que é que cada um pode fazer. Deve-se incentivar as pessoas a pensar em coisas diferentes...

O LHC VAI TESTAR A TEORIA DE SUPERCORDAS?

FM - O que é que o LHC nos poderá trazer que não pode ser previsto pela teoria de supercordas?

WOIT - A teoria de supercordas não faz quaisquer previsões efectivas. Ponto final.

AG - Não há uma única teoria para além do Modelo Padrão que faça quaisquer previsões efectivas convincentes. Não é só a teoria de supercordas. O Modelo Padrão tem um problema: funciona demasiado bem.

UM FUTURO INTERESSANTE NA FRONTEIRA ENTRE A TEORIA QUÂNTICA DE CAMPO E A MATEMÁTICA

WOIT - Há uma diferença: tudo o que as pessoas que trabalham em teoria de supercordas estão a fazer é essencialmente técnico... Eu vejo que parte das reacções à minha crítica à teoria de supercordas afirma que ela é demasiado matemática, que nos deveríamos limitar aos fenómenos... Mas eu concordo que também não há ideias novas nas teorias alternativas. Acho muito inquietante ver reacções nos departamentos de física contra o uso da matemática abstracta em física. Julgo que existe um enorme número de questões interessantes na fronteira entre a teoria quântica de campo e a matemática. Isto já não é popular, mas acho que uma grande parte do futuro passa por aí.

LUÍS ALVAREZ-GAUMÉ (AG) é doutorado em física teórica pela Universidade do Estado de Nova Iorque em Stony Brook. É membro permanente do Laboratório Europeu de Física de Partículas (CERN), onde é director da Divisão de Física Teórica.



A energia do país passa por nós.

Fazer chegar a energia onde ela é necessária é uma das nossas missões. Sempre com consciência e preocupação a nível social e ambiental e com altos critérios de qualidade e segurança. Por isso, a REN – Redes Energéticas Nacionais – assegura um canal de transporte eficaz de toda a energia do país, seja ela de muito alta tensão ou de alta pressão tendo em conta os elevados padrões de exigência do mercado. Porque é no futuro de todos nós que dedicamos toda a nossa energia – Electricidade ou Gás - onde é preciso. Em todo o país.



Redes de confiança




Na próxima

Gazeta de Física

vamos espreitar o

Ano Internacional da Astronomia



A imagem, obtida com o Telescópio Espacial Hubble no início de Abril, representa um grupo de galáxias chamado Arp 274, também conhecido como NGC 5679. Durante 2009, em comemoração do Ano Internacional da Astronomia, o Space Telescope Science Institute lançou o concurso “Você decide”, em que pediu ao público que elegeisse um objecto espacial para ser fotografado pelo Hubble. O sistema Arp 274 foi o vencedor, com metade dos cerca de 140000 votos, mostrando de forma eloquente a preferência dos votantes.

Arp 274 é um sistema de três galáxias que se apresentam parcialmente sobrepostas na imagem, embora na realidade possam estar a distâncias algo diferentes. Duas das galáxias exibem uma forma espiral praticamente intacta. A terceira galáxia (à esquerda) é mais compacta, mas apresenta indícios de estrelas em formação. Nessa galáxia e na da direita podemos distinguir pequenos pontos brilhantes azulados ao longo dos braços, que correspondem a zonas onde se formam novas estrelas a uma taxa elevada. A galáxia do meio é a maior do grupo, surgindo como uma galáxia espiral, eventualmente barrada. Todo o sistema está a uma distância de 400 milhões de anos-luz da Terra, na constelação Virgem.