

PULSAR

REVISTA DO NÚCLEO DE FÍSICA DO IST | 1º SEMESTRE 2014/2015 | EDIÇÃO 34 | DISTRIBUIÇÃO GRATUITA

OS MENSAGEIROS DE EINSTEIN

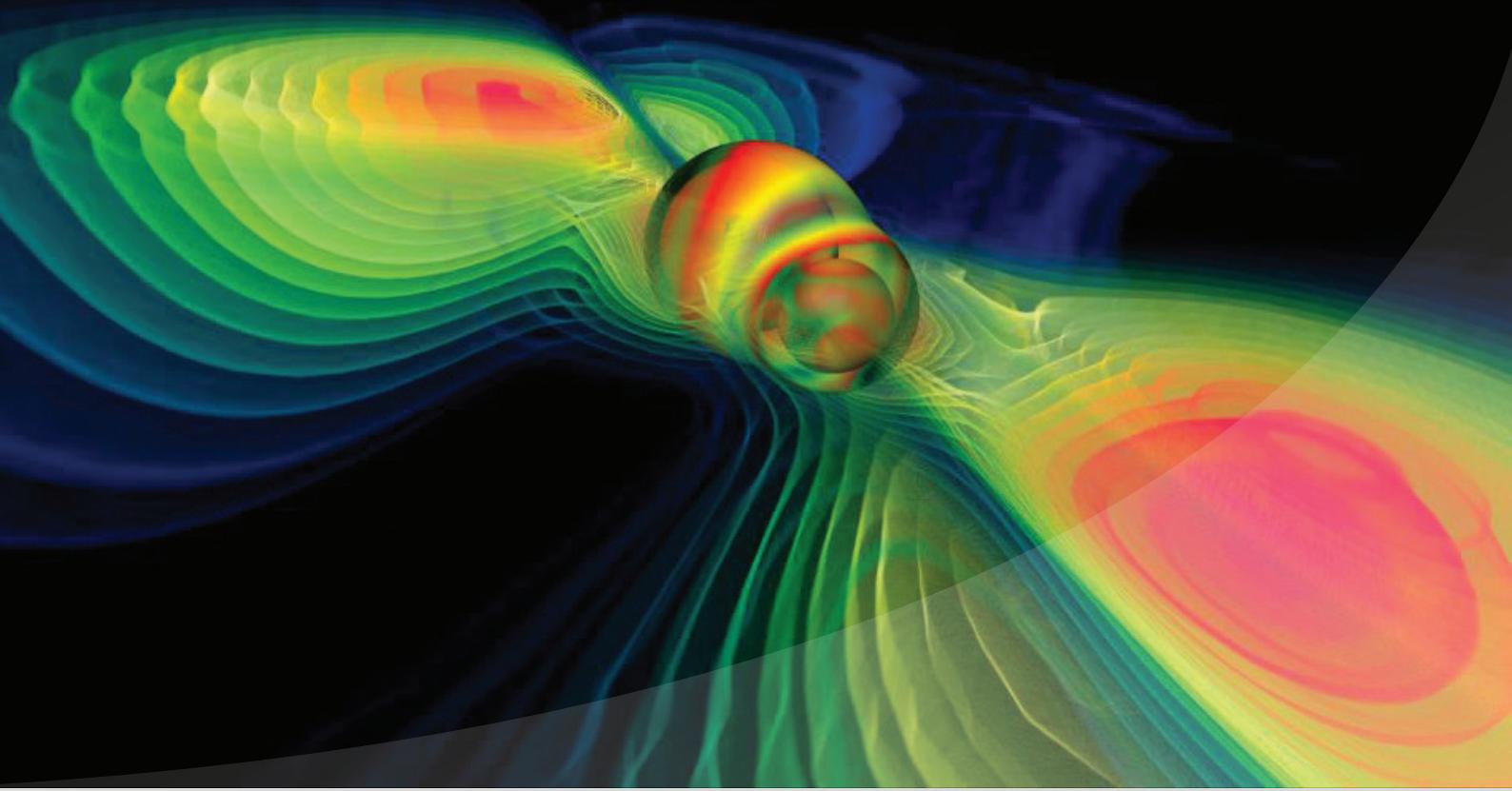
Ondas gravitacionais e Relatividade Geral

LEVITAÇÃO QUÂNTICA

Quando o fotão ganha massa

IYL2015

Por Carlos Fiolhais



Destaque acima: Simulação de ondas gravitacionais geradas quando dois buracos negros colidem. Fonte: Albert Einstein Institute

Imagem de capa: Fractal de Julia, representando a distorção do espaço-tempo em redor de um buraco negro.

Fonte: fractalmonster.deviantart.com

Apoios



TÉCNICO
LISBOA



UNIVERSIDADE
DE LISBOA



ipfn
INSTITUTO DE PLASMAS
E FUSÃO NUCLEAR



Parceiros



Ficha Técnica

Direcção:

Inês Figueiredo
Rita Costa
André Gonçalves

Redacção:

Ana Onofre, André Gonçalves, André Lopes, Francisco Nunes, Inês Figueiredo, João Braz, Lucas Martins, Miguel Fonseca, Miguel Jaques, Pedro Mendes, Rita Costa, Rita Neves, Rodrigo Campos de Carvalho, Telmo Cunha. *Autores convidados:* Professor Carlos Fiolhais, Richard Brito, Paolo Pani, Professor Vitor Cardoso

Revisão de textos:

Francisco Nunes, Inês Figueiredo

Arte

Design e montagem: Fábio Cruz, Rita Costa

Produção

Impressão: LST, Artes Gráficas

Tiragem: 1500 exemplares

Contacto

Site: <http://pulsar:nfist.pt>
e-mail: pulsar@nfist.pt

Morada: Núcleo de Física do Instituto Superior Técnico, Avenida Rovisco Pais, Instituto Superior Técnico, Edifício Ciência - Departamento de Física, 1049-001 Lisboa

Telefone: 218419075

Ext: 3075

Índice

- 4** Breves
- 5** DIYPhysics: O arroz nadador
- 6** Mecânica Estatística em Biologia
- 8** 2015: Ano Internacional da Luz
- 10** Física e tecnologia do Fogão de Indução
- 11** Física Sobre Rodas 2014
- 12** Os mensageiros de Einstein
- 14** Metamateriais
- 16** Lasers e espectrómetros de massa: do CSI ao património
- 19** Evolução do pensamento científico
- 20** Levitação Quântica: quando o fotão ganha massa
- 22** O que está a dar é o 3D



Editorial

É com grande gosto que mais uma vez chega até vós mais uma PULSAR, desta vez a edição 34. Só agora no final do semestre conseguimos fazer a nossa publicação porque a Universidade não dá grande descanso, e só neste momento conseguimos as condições para vos mostrar o melhor que desenvolvemos, e com os nossos melhores textos.

Agora com uma Direcção rejuvenescida e renovada, queremos fazer um agradecimento profundo ao Fábio e ao Francisco por todo o apoio que nos têm dado, nesta primeira fase de transição, sem eles nada teria sido possível! Esperamos continuar a trazer a mesma qualidade pela qual nos pautamos, e pelo rigor científico dos nossos artigos – vamos manter-nos com a mesma ideia: promover a física, a Ciência, em todas as suas vertentes e aplicações, numa perspectiva interdisciplinar que agrade um pouco a todos.

Nesta edição decidimos passar por uma das maiores descobertas científicas do ano, com investigadores do CENTRA a explicarem-nos tudo o que há para saber sobre Ondas Gravitacionais. Damos ênfase ao Ano Internacional da Luz com a ajuda do Professor Carlos Fiolhais e a diversas aplicações da Física às mais diversas áreas. Damos ainda um salto à biologia e à tecnologia, sem esquecer das aventuras do Circo por esse Portugal fora.

Um agradecimento especial a todos aqueles que contrariam a sua inércia e escreveram dedicadamente para a PULSAR, porque sem eles o conteúdo desta revista não teria significado.

Esperamos continuar a merecer a vossa confiança, e que este e os próximos números sejam tão bons ou melhores que os anteriores.

Até breve,

Inês Figueiredo
Rita Costa
André Gonçalves

Matemático prova porque é os *hipsters* são todos iguais

Porque é que os *hipsters* se vestem todos de igual? Um matemático neurocientista da École Polytechnique publicou um artigo em que afirma que também há neurónios que se comportam como *hipsters*: estão activos quando todos os neurónios em seu redor são passivos e “silenciosos” quando todos os neurónios à sua volta “comunicam”. Acontece que, tal como as pessoas, os neurónios demoram tempo a perceber o que é *mainstream*. Quando o desfasamento é grande o suficiente podem ocorrer ciclos em que todos os neurónios *hipsters* querem ser simultaneamente diferentes. Afinal ser *hipster* é mesmo uma questão de mentalidade.



Física para medir a glicose? Check.

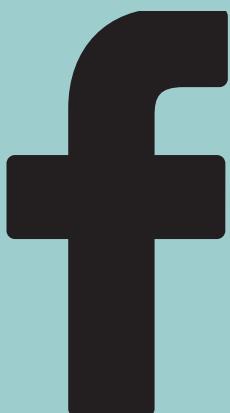
Quem nunca usou uma tatuagem temporária do Bollycao? Engenheiros da Universidade da Califórnia introduziram sensores em pequenas tatuagens temporárias que medem a força da descarga eléctrica produzida pela glicose. Estas tatuagens conseguem medir o nível de glicose no sangue com a mesma precisão da actual medição da glicemia capilar, ou teste da picada do dedo. O método tem a vantagem de custar apenas alguns céntimos e de durar um dia inteiro. E de aumentar o estilo, óbvio.

Elon previne Matrix

Elon Musk, conhecido CEO da SpaceX, resolveu doar 10 milhões de euros para um programa de investigação com vista em assegurar que os desenvolvimentos na área da inteligência artificial continuem benéficos à humanidade. Assim como vários investigadores que têm demonstrado a sua preocupação, Musk acredita que estamos em risco de atingir uma “Singularidade Tecnológica”, um desenvolvimento da inteligência artificial que a faça superar a humana, mudando radicalmente a sociedade em que vivemos. Este programa - “Future of Life” - promete prosseguir com a investigação sustentada nesta área e impedir efeitos negativos que esta possa trazer à sociedade.



Agora também no Facebook!



A PULSAR já está no Facebook! Através da nossa página, pretendemos divulgar os artigos lançados nas várias edições da PULSAR, bem como novas descobertas e curiosidades.

Esperamos que esta seja mais uma forma de vos trazer as novidades. A página é facebook.com/pulsarmag e está à espera dos gostos de (actuais e futuros) amantes da Ciência e da Física!



PULSAR no Facebook

DIYPhysics

O arroz nadador

por Rodrigo Campos de Carvalho, aluno do 2º ano do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST

O que vais precisar

- Alguns bagos de arroz
- Refrigerante transparente
- Copo transparente

Para cativar a atenção da mesa, pega sem medo num bago de arroz e coloca-o dentro de um copo com gasosa. De facto, qualquer bebida gaseificada serve, só que com algumas a experiência seria apenas “o desaparecimento do arroz”. Se quiseres ir mais longe no teu alegado truque de magia, usa um refrigerante transparente, por exemplo 7up, Sprite ou até Gasosa do Continente. A tua família vai cair-te aos pés assim que vir o arroz a nadar para cima e para baixo dentro do copo.

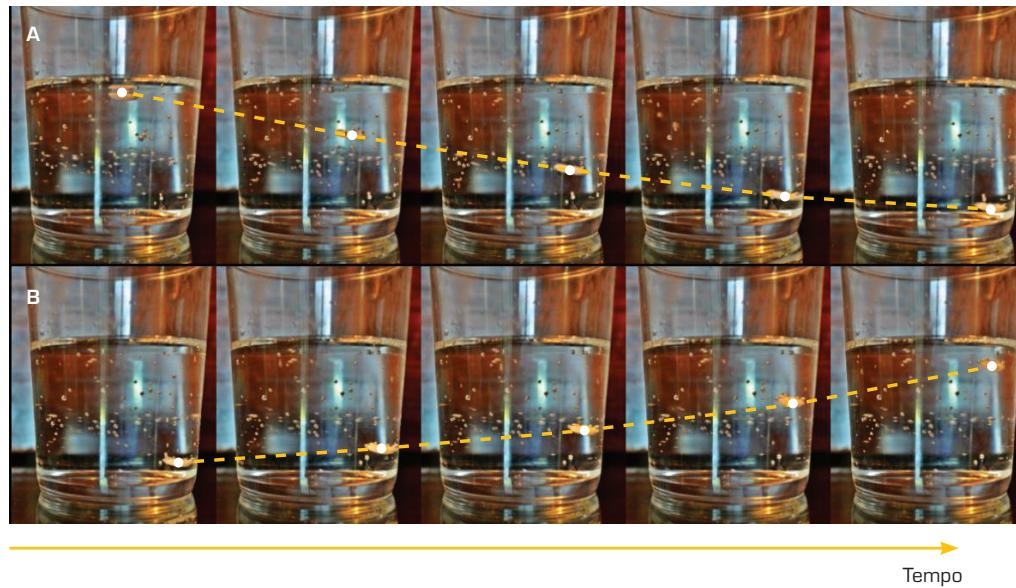
É agora altura de disfrutar das caras espantadas, dos ah's e oh's, dos aplausos e choros, das vénias e rosas, tudo pode acontecer e tudo será fácil e gratificante até te ser colocada a pergunta “Porque é que isto acontece?”. Aqui, tens uma decisão a tomar: se queres ser admirado como um bom ilusionista ou louvado como um brilhante físico. Um crente do além ou um filho da ciência. Visto de outra forma, um defensor da mentira ou um dono da verdade. A escolha é óbvia. Em vez de beber o copo de um só trago e responder encolhendo os ombros, “Magia!”, levantas-te, sobes a um banco e, qual Santo António pregando aos peixes, trazes a luz aos que ainda não a viram.

Trajectória do bago de arroz

A) O bago de arroz é mais denso do que a gasosa e, por isso, afunda-se no copo



B) A impulsão (**I**) provocada pelas bolhas que se formam à volta do bago de arroz supera o peso (**P**) e leva a bolha a subir de novo no copo



Dentro de um fluido (por exemplo gasosa), os corpos (por exemplo bagos de arroz e bolhas de ar) sofrem a acção de duas forças. Tal como em qualquer outro sítio, uma delas é a famosa força da gravidade, também vulgarmente chamada peso. É a força com que a Terra nos puxa. Mas a bebida exerce também uma força: a impulsão.

Temos então duas forças a competir uma com a outra: o peso e a impulsão. Enquanto o peso empurra para baixo, a impulsão empurra para cima. Falta saber quem assume o controlo, se o peso fazendo o corpo descer, se a impulsão

fazendo o corpo subir. Quem decide para quem vai a vitória é nada mais que a densidade do corpo. Se for maior que a da bebida, o peso ganha e o corpo afunda-se. Se for menor que a da bebida, a impulsão ganha e o corpo emerge. Se forem iguais, há um empate e fica suspenso a “levitar”.

O bago de arroz é mais denso que a gasosa. Por isso cai até ao fundo quando o pomos no copo. Mas as bolhas que vemos nestes refrigerantes sobem até à superfície, porque guardam gás menos denso que a gasosa. É também por isso que as braçadeiras e bóias nos puxam para cima: por estarem cheias de ar.

Estas bebidas estão cheias de gases como dióxido de carbono prontos para fugir até à superfície nas suas bolhas. Para que isto aconteça, é preciso que ocorra a formação de bolhas. Esta dá-se principalmente nas zonas de imperfeição, como rachas nos copos, restos de sujidade ou, surpresa, surpresa, bagos de arroz. De facto, um bago de arroz cozido está longe de ter uma superfície lisa, brilhante e encerada; por isso conseguimos ver várias bolhas a formarem-se em torno do bago, que o levam até ao topo.

À superfície, os gases chegaram ao seu destino e são

libertados para a atmosfera, juntamente com a destruição das bolhas. Voltamos então à situação inicial em que o peso do bago se sobrepuja à impulsão e volta a afundar-se.

Resumindo: o bago de arroz desce porque é mais denso que a gasosa, mas quando se formam bolhas à sua volta, menos densas, a impulsão supera o peso e provoca a subida. Felizmente e para bem do espectáculo, cá em cima as bolhas rebentam e a história repete-se a partir do princípio.

E assim, com uma explicação simples, a magia transforma-se em ciência. ■

Mecânica Estatística em Biologia

por Telmo Cunha, aluno do 3º ano do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST

Bactérias, organismos unicelulares relativamente simples, são capazes de tomar decisões complexas. Como? Foi com o objectivo de responder a esta questão, que os físicos trouxeram para a biologia molecular ferramentas da mecânica estatística, de forma a produzir modelos matemáticos capazes de explicar os dados obtidos em experiências que observam o comportamento de células individuais.

Por volta de 1940 verificou-se que o crescimento de uma população de *Escherichia Coli* duplicava de tamanho de hora em hora consumindo açúcar. No entanto, Jacques Monod (Prémio Nobel da Fisiologia ou Medicina em 1965) observou que, estando presentes no ambiente dois açúcares diferentes, glicose e lactose, verificava-se um comportamento distinto, como é possível observar na Figura 1.

Após um período de crescimento exponencial ocorria uma pausa de aproximadamente uma hora até as bactérias continuarem com o mesmo ritmo de crescimento. Monod entendeu a chave deste comportamento, o intervalo de tempo até à pausa no crescimento da população era regulado pelo rácio entre os dois açúcares presentes.

Verificou também que a bactéria era inicialmente incapaz de consumir lactose, percebendo-se mais tarde que a pausa era necessária à produção das enzimas responsáveis pela digestão deste açúcar. Apesar de estas enzimas se encontrarem codificadas no seu DNA, estariam inicialmente inativas.

Considerando estas descobertas a pergunta mais relevante aparenta ser: Qual o mecanismo, a nível molecular, que faz com que uma célula decida ativar a expressão de um determinado gene?

Tendo em conta a Figura 2, células iguais, com o mesmo código genético e sujeitas ao mesmo ambiente, não têm comportamentos idênticos, sendo que neste caso apenas uma das células produz a enzima necessária à digestão da

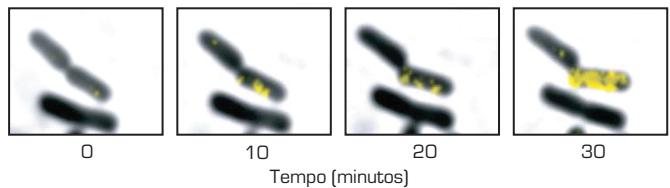


Figura 2: Na presença de um ambiente com lactose, células individuais tornam-se capazes de produzir enzimas (a amarelo) necessárias à degradação da lactose. [1]

lactose. A fonte desta incerteza no comportamento individual das células e os seus efeitos são atualmente um tópico bastante ativo de investigação.

O operão, um gene ou conjunto de genes, é controlado por apenas uma região denominada região promotora. Para ocorrer a transcrição do gene é necessário que a enzima RNA-polimerase, responsável pela transcrição do DNA em mRNA, se ligue à região promotora, percorrendo a cadeia de DNA e construindo simultaneamente uma molécula de mRNA complementar a esse gene. Esse mRNA, depois de sofrer processos de maturação, será traduzido num ribossoma, dando origem a uma proteína.

O operão lac, representado na zona superior da Figura 3, é constituído por uma região CAP, três genes estruturais que codificam proteínas funcionais (LacZ, LacY e LacA), sendo o LacZ responsável por originar a beta-galactosidase que degrada a lactose em glucose e galactose, um operador (O), uma região promotora e um gene regulador (lacI). Este último gene é responsável pela síntese de uma proteína repressora que tem a capacidade de bloquear a expressão dos genes estruturais. Este repressor actua ligando-se ao operador, impedindo a transcrição do DNA pela RNA-polimerase que não consegue ligar-se à região promotora. Logo, o estado basal deste operão é na forma inactiva, ou seja, em geral observa-se um baixo nível de transcrição dos genes do operão lac.

Para que haja transcrição dos genes estruturais, é necessária a presença de um indutor, neste caso a lactose, que se liga ao repressor, inactiva-o, impedindo a sua ligação ao operador e deixando o mecanismo de transcrição ocorrer normalmente.

Para além disso, este operão tem um mecanismo adicional de repressão que está relacionado com a região CAP, situada antes da região promotora. Quando a célula tem glucose disponível a ser metabolizada, a frequência de expressão dos genes estruturais do operão lac baixa significativamente. Isto ocorre porque quando existe glucose no

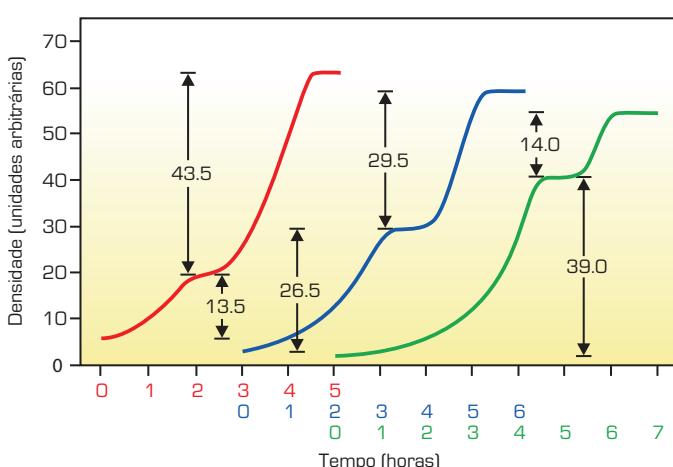


Figura 1: Crescimento de uma população de *Escherichia Coli* em função do tempo. Os rácios de glicose/lactose são de 1:3, 1:1 e 3:1 para as linhas vermelha, azul e verde, respectivamente. [1]

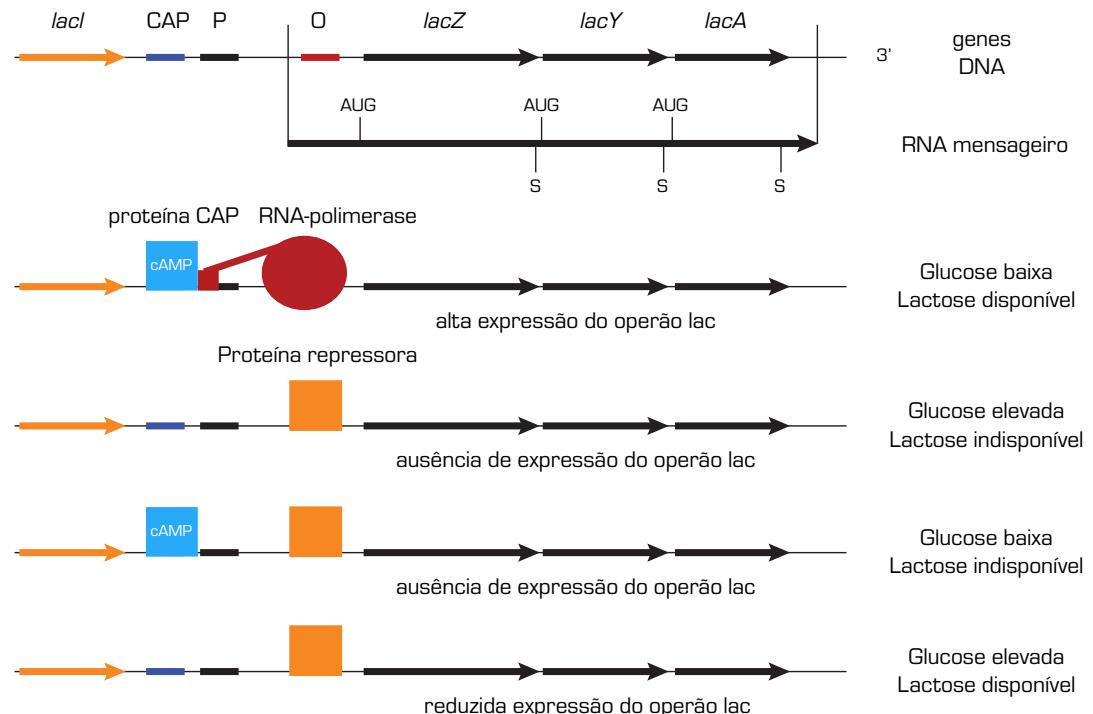


Figura 3: Sistema de controlo da expressão do gene necessário à digestão da lactose em função dos açúcares presentes no ambiente.

meio, não há formação de cAMP (AMP cíclico) que se liga à proteína CAP (que tem afinidade pela região CAP que antecede a região promotora) que constitui mais um entrave à normal função da RNA-polimerase.

Desta forma, o operão lac está a ser activamente transcripto quando unicamente lactose está presente no meio, o que faz sentido, já que a função dos genes estruturais é metabolizar a lactose, originando glucose e galactose.

Mecânica Estatística da Repressão

Neste modelo ignora-se o efeito do CRP utilizando células modificadas geneticamente, sendo a regulação dos genes lac apenas função da presença (gene lac activo) ou ausência de repressor lac na célula. Utilizando diferente número de repressores lac e DNA promotor com capacidade de ligação variável, obteve-se um rácio entre a quantidade de expressão do gene sem repressores e expressão com repressores num intervalo contínuo de 1.3 a 4700, representando respetivamente fraca e forte repressão. A descrição booleana anterior não é claramente capaz de explicar estes resultados.

Sendo a expressão do gene probabilística, seria de esperar que fosse possível observar a activação ou desactivação de um gene em tempo real. De facto em 2005, Ido Golding e colegas, utilizando moléculas de RNA com fluorescência, foram capazes de inferir a variação do número de moléculas de RNA em função do tempo, tendo em conta a variação na intensidade de fluorescência. No entanto, apesar de este comportamento ser consistente com o mecanismo de repressão probabilístico, não é suficiente para explicar o comportamento observado. O ambiente onde a colónia de bactérias estava inserido teria açúcar suficiente para garantir que as proteínas repressoras não se ligassem ao

DNA promotor. As causas para tal comportamento ainda permanecem desconhecidas.

Uma natureza estocástica da expressão de determinados genes permite compreender o comportamento das células na Figura 2 onde apenas algumas células consomem lactose.

Um exemplo relevante da importância de perceber estes mecanismos é o efeito dos antibióticos. Quando uma colónia de bactérias é sujeita a um tratamento por antibióticos, apenas algumas células que desenvolveram resistência a esses mesmos antibióticos de forma espontânea sobrevivem. Mais tarde essas células tornam-se suscetíveis a esses mesmo antibióticos aumentando a sua capacidade reprodutiva e dando origem a uma nova colónia igual à presente antes de os antibióticos terem sido introduzidos no sistema. O papel da teoria estocástica para a expressão genética pode revelar-se fundamental para compreender melhor este tipo de comportamento.

Estes modelos físicos estão a dar origem a testes cada vez mais rigorosos acerca dos mecanismos moleculares responsáveis pela expressão genética relativamente aos modelos qualitativos da biologia. São, para além disso, o caminho para os circuitos biológicos sintéticos: células que realizam funções lógicas considerando a influência que determinadas proteínas têm na expressão dos genes. Prevê-se que este tipo de circuitos possa ajudar no combate a células humanas doentes como, por exemplo, células cancerosas. ■

Referências

- [1] Kondev, J., *Bacterial Decision Making*, Physics Today 67 (2), 31 (2014); doi: 10.1063/PT.3.2276

2015 Ano Internacional da Luz

por Inês Figueiredo, aluna do 3º ano do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST



Página do IYL2015

Na sua 68ª assembleia geral, as Nações Unidas proclamaram 2015 como o ano internacional da luz e das tecnologias baseadas na luz (IYL2015). A PULSAR foi descobrir um pouco mais sobre esta iniciativa e esteve à conversa com Carlos Fiolhais, Coordenador da Comissão Nacional para o ano da Luz.

O Ano Internacional da Luz é uma iniciativa que procura divulgar à escala global a importância da luz e das tecnologias ópticas no nosso dia-a-dia e no desenvolvimento futuro da nossa sociedade. Esta iniciativa procura sensibilizar o público para a importância das tecnologias ópticas, que são um meio de criar soluções para problemas globais nas áreas das comunicações, saúde, ensino, agricultura e outras. Para mais informações sobre o evento, vídeos e iniciativas pode consultar o site light2015.org. O NFIST adoptou a Luz como tema central da próxima Semana da Física.



INTERNATIONAL
YEAR OF LIGHT
2015

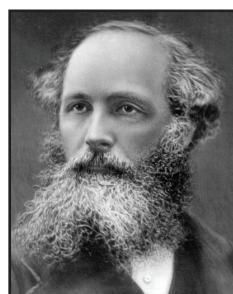
Discoverers of Light

Actualmente, a luz, enquanto onda electromagnética, é das interações fundamentais de que possuímos mais conhecimento. No entanto, isto nem sempre se verificou. O desenvolvimento deste conhecimento envolveu quase todas as figuras de renome no mundo científico e muito debate sobre a natureza da luz enquanto corpúsculo ou onda. Algumas das teorias relacionadas celebram em 2015 o seu aniversário, tornando-se o ponto de partida para a escolha das Nações Unidas.



1015

Publicação de *Book of Optics* por Ibn al-Haytham. O *Book of Optics* teve uma grande influência na forma como a luz e a visão eram percepcionadas, refutando ideias errónias defendidas por Aristóteles e outras figuras relevantes da época.



1865

Proposta da teoria electromagnética da propagação da luz por Maxwell. Pela primeira vez, foi apresentada uma teoria que unificava a electricidade, o magnetismo e a luz como manifestações do mesmo fenômeno.



1815

Introdução da teoria que apresenta a noção de luz enquanto onda. Fresnel estudou o comportamento da luz extensivamente, tanto teórica como experimentalmente, formulando as reconhecidas equações de Fresnel.

O IYL2015 por Carlos Fiolhais



O Ano Internacional da Luz é uma grande oportunidade para a ciência e para a sociedade. Oferece a possibilidade de cruzamentos entre as várias áreas do conhecimento. A Física está longe de ser a única em questão.

Em 2015, iremos chamar a atenção para ciência e tecnologia da luz. Temos como objectivo entusiasmar jovens e menos jovens para a ciência, informando sobre oportunidades de realização profissional em áreas ligadas à luz e não só. Pretendemos ainda aproximar escolas e empresas, ligar a indústria aos consumidores e juntar de modo criativo as artes e as ciências. "Repare-se que há artes, como as visuais, a fotografia e o cinema, que dependem criticamente da luz. Muitos caminhos estão abertos e há que explorá-los neste ano da luz."

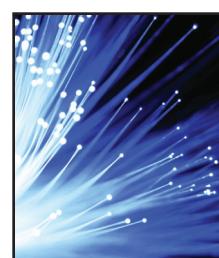
Portugal, que tão boa figura tem feito noutros anos internacionais, terá um programa nacional de actividades à volta da luz e das suas aplicações. Uma Comissão Nacional está já constituída e integra representantes da Sociedade Portuguesa de Física, da Ciência Viva – Agência Nacional para Cultura Científica e Tecnológica, da representação nacional da UNESCO, da Sociedade Portuguesa de Química, da Sociedade Portuguesa de Óptica, da Ordem dos Biólogos,

entre outros. A Comissão, que já abriu uma página na Internet (<http://ail2015.org>), esboçou um programa nacional em quinze pontos, para cuja concretização busca apoios tanto públicos como privados. Procuraremos enquadrar quaisquer iniciativas à volta do tema da luz que mostrem possuir suficiente qualidade. Qualquer pessoa poderá registar as suas actividades na página Web indicada. Julgo que vamos ter boas surpresas, a avaliar por algumas propostas que recebemos.

Dos eventos que a Comissão Nacional vai procurar organizar, destaco a Exposição sobre a Luz e a Conferência sobre a Luz, aos quais desejamos dar projecção nacional. Mas há muito mais motivos de interesse como os concursos de fotografia e cinema, as observações do céu nocturno, o teatro científico, os cafés de ciência, os kits de ciência para os mais novos, as publicações de ciência e os destaques (highlights) mensais de alguns tópicos. O programa em preparação vai interessar os cidadãos, vai promover a cidadania em torno da ciência, da tecnologia e, mais em geral, da cultura. Esperamos, ainda, enriquecer o programa com o apoio dos estudantes que costumam trazer surpresas, devido à sua imensa criatividade. "Todos são bem vindos pois, recorro a um provérbio, a luz quando nasce é para todos!"

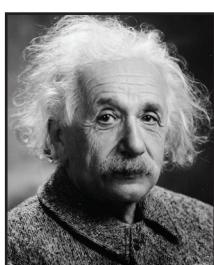
Por fim, gostaria de realçar o carácter global da iniciativa. Quando a Assembleia Geral das Nações Unidas, em Novembro, proclamou 2015 como o Ano Internacional da Luz, lançou um ano à escala planetária em que se pretende destacar aos cidadãos de todos os países a enorme importância da luz, em particular das tecnologias baseadas nela, nas suas vidas e no seu futuro. Isto é, alertar para a sua importância no desenvolvimento social e humano. O ano de 2015 constitui, assim, uma oportunidade extraordinária para um trabalho cooperativo à escala internacional. Todo o mundo estará focado na luz.

O friso cronológico não se encontra à escala.



1905

Demonstração do efeito fotoeléctrico por Einstein. A partir desta altura, foi compreendida a importância da luz e das suas propriedades na cosmologia.



1965

Transmissão de luz através de fibra óptica, por Charles Kao. Estes avanços possibilitaram uma comunicação incrivelmente mais rápida e eficiente, iniciando uma nova era de transmissão de informação a nível global.

A física e a tecnologia do... Fogão de indução

por Pedro Mendes, aluno do 3º ano do Mestrado Integrado em Eng. Física, FCUL

Como estudantes universitários estamos numa fase da nossa vida em que temos de começar a tomar conta de nós próprios. Para quem é estudante deslocado, limpar a casa, pagar contas, cozinhar, são tarefas que já passaram a ser da responsabilidade de cada um. Se no caso das contas não há muita volta a dar, quanto às outras há que procurar a maneira mais rápida e eficiente de as fazer - afinal, e confiando no que nos dizem os nossos pais, estamos na Universidade para estudar. E para quem é estudante na área da Física, haverá melhor maneira para tal que aplicar os nossos conhecimentos na confeção de alimentos que nos darão força para expandirmos ainda mais esses conhecimentos? A resposta parece-me óbvia. E também o deve ter sido para quem inventou o produto de que vou falar neste artigo: o fogão de indução.

O funcionamento deste tipo de fogão baseia-se num fenómeno há muito conhecido do Electromagnetismo. Na primeira metade do século XIX, o físico inglês Michael Faraday descobriu que, caso haja um movimento relativo entre um campo magnético e um circuito, é gerada uma força electromotriz que induz uma corrente eléctrica no circuito. Matematicamente, a Lei da Indução de Faraday foi formulada pelo alemão Franz Ernst Neumann na equação

$$\varepsilon = -\frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t}$$

em que ε representa a força eletromotriz e $\Delta \Phi_B / \Delta t$ representa a taxa de variação temporal de fluxo magnético, ou seja, do número de linhas de campo magnético que atravessa esse mesmo circuito.

A equação indica que a corrente eléctrica induzida é proporcional à variação do fluxo magnético no tempo. Se existir movimento entre o circuito e um íman, por exemplo, a intensidade do campo magnético que atravessa o circuito varia, pelo que o fluxo também varia. A presença do sinal

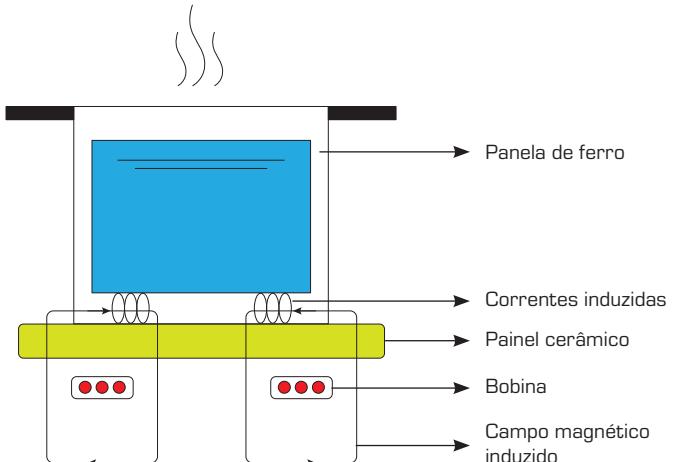


Figura 2: Fogão de indução esquematizado

negativo na equação deve-se ao facto de se ter verificado que o sentido da corrente é o oposto da variação do campo magnético que a gera. Esta relação foi descoberta pelo também alemão Heinrich Lenz, pelo que há quem defende que o nome mais apropriado para a Lei da Indução Eletromagnética é Lei FNL (Faraday-Neumann-Lenz).

Os fogões de indução servem-se deste fenómeno. Quando um campo magnético variável actua num circuito fechado, induz neste uma corrente eléctrica [conforme se observa na Figura 1]. Neste tipo de fogão, existe uma bobina que cria um campo magnético oscilante, induzindo uma corrente eléctrica em qualquer objecto metálico nas proximidades. A corrente induzida na panela aquece-a devido à sua resistência eléctrica. Este fenómeno é conhecido por efeito de Joule. Um aspecto interessante do fogão de indução é o facto de não haver contacto entre a fonte [as bobinas] e o objecto a ser aquecido [a panela], que estão separados por um painel que não sofre indução – ver Figura 2.

Mas quais são as suas vantagens, em relação a outros tipos de fogões? Antes de mais, os fogões de indução não utilizam directamente combustíveis fósseis [ao contrário dos mais convencionais, que funcionam à base de gás natural]. São ainda muito mais eficientes, com a taxa de energia transferida para a panela que é convertida em calor a situar-se na ordem dos 90% – no caso do gás de cozinha, este valor situa-se aproximadamente nos 25%. É ainda um método muito mais seguro, pois não há o risco de haver uma sempre perigosa fuga de gás, e a refeição é preparada de forma mais rápida e equilibrada, pois o sistema de indução distribui o calor de uma maneira mais uniforme.

Assim sendo, estamos a falar de um fogão mais eficiente, rápido e fácil de usar [e até de limpar]. É um aparelho que faz muito pouco barulho, o que não se verifica em alguns fogões mais antigos e há até quem já lhe chame “fogão universitário”! ■

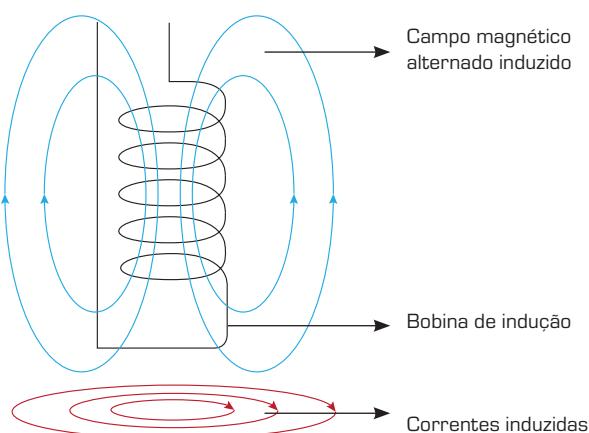


Figura 1: Campo magnético (azul) e correntes induzidas num meio condutor (vermelho) por uma bobina (preto)

Física Sobre Rodas 2014

por Lucas Martins, aluno do 5º ano do Mestrado Integrado em Eng. Electrotécnica e de Computadores, IST

O que é necessário para garantir uns dias de diversão, turismo e muita ciência? Foi isso que o auto-intitulado “Hexagrup” da Física Sobre Rodas (FSR) e Astronomia no Verão foi descobrir, ao embarcar numa aventura de quatro dias pelas províncias de Portugal. A equipa foi composta por Lucas Martins, Sofia Freitas, Yoeri Brouwer, Inês Figueiredo, João Luís Rosa, e Débora Barreiros.

As experiências

Para esta aventura levámos algumas das nossas experiências que verdadeiramente chamam a atenção do público, tais como a cama de pregos, o gerador electrostático Van de Graaff e a roda de bicicleta. Levámos também uma caixa com uma seleção das nossas experiências mais portáteis, dentro da qual encontramos o berço de Newton, as experiências de electromagnetismo, polarizadores ópticos, e muitas mais!

Os telescópios

Contámos com dois telescópios na nossa bagagem: o Coronado e o Mizar; os nossos assistentes para a observação do Sol e do céu nocturno, respectivamente. Equipado com um filtro H-alpha, o Coronado é de eleição para observar a estrela mais próxima de nós de forma segura, e o Mizar um canivete suíço para observar os mais diversos tipos de corpos celestes.

A aventura

Dia 1: Após um exaustivo período de preparação, chega finalmente o dia da partida em direcção a Évora! Com a carrinha já arrumada de véspera, chegámos mais cedo que o previsto e tivemos tempo para dar um passeio junto ao Templo de Diana, antes de começarmos a montagem das experiências ao lado da Sé Catedral de Évora. O sol esteve forte e desobstruído, não só óptimo para observações com o Coronado mas também para chamar turistas até à Catedral, que formaram a maior parte da nossa audiência. Uma tarde de Circo da Física contado num misto de inglês e francês culminou com a presença dos habitantes locais que finalmente cederam à curiosidade e se juntaram para experimentar as nossas bancadas. Fomos convidados pelo laboratório HERCULES a visitar as suas instalações, onde observámos as suas técnicas de estudo e análise de peças arqueológicas e arte. À noite subimos até ao Alto de S.Bento para a nossa primeira noite de observações nocturnas.

Dia 2: Horas de pegar na carrinha e seguir para a nossa próxima paragem: Beja. Fomos recebidos pelo Sr. Álvaro Barriga, da Câmara Municipal de Beja, que não só nos mostrou a cidade e um belo restaurante onde almoçar, mas também nos deu acesso a uma praça no centro da cidade, na Rua de Mértola. Os transeuntes foram-se juntando ao

longo da tarde e respondendo muito positivamente, especialmente à cama de pregos e à roda de bicicleta, que foram as experiências estrela em Beja. Após o jantar fomos para o Parque da Cidade, onde ao som do concerto do café do Parque observámos um céu límpido, cheio de histórias centradas na mitologia grega.

Dia 3: Subimos no mapa para Sesimbra, que será a nossa casa durante o fim-de-semana. Instálamo-nos junto à praia da Califórnia, apenas com as nossas experiências mais pequenas e com o nosso fiel Coronado. Fomos chamando até nós todos aqueles que aproveitavam o fim-de-semana para apanhar sol e tomar uns banhos salgados, porque sem dúvida que a meteorologia convidava a tal. Foi uma tarde quente e cheia de ciência, sem faltar uns mergulhos ao fim da tarde! Pela noite o telescópio foi montado na Fortaleza de Santiago, onde observámos alguns chamarizes do céu de Verão, como alguns objectos celestes muito mais próximos de nós que as estrelas: os nossos vizinhos Saturno e Marte, por exemplo!

Dia 4: O último dia da FSR foi muito descansado, visto não termos que iniciar uma aventura na estrada logo pela manhã, e mais uma vez estivemos pela Califórnia de Sesimbra durante o dia e pela Fortaleza de Santiago à noite. Acabámos assim a nossa aventura deste Verão, finda a qual regressámos ao Instituto Superior Técnico. Agora só resta começar a preparar a edição do próximo ano! ■



Exposição da Física Sobre Rodas em Beja

Os mensageiros de Einstein

por Richard Brito, Vitor Cardoso e Paolo Pani, Centro Multidisciplinar de Astrofísica, IST

Rugas no espaço-tempo

O último filme de Christopher Nolan, *Interstellar*, tem lugar num futuro próximo no qual a raça humana já tem a capacidade para fazer viagens cósmicas usando atalhos especiais, os “buracos de minhoca”. Apesar da aparência de ficção científica, os argumentistas – os irmãos Nolan - trabalharam lado a lado com Kip Thorne, professor de Física Teórica em Caltech e um dos pais da Relatividade Geral moderna, a teoria que explica o que buracos negros e de minhoca são e como se podem formar no universo. A missão do Kip Thorne foi a de assegurar que o filme - protagonizado por Matthew McConaughey e Anne Hathaway - não contivesse cenas que fizessem o Einstein ranger os dentes. Será que isto significa que dentro em breve vamos poder comprar bilhetes (de ida e volta!) para o interior de buracos negros? Bem, ainda não... mas em breve, físicos e astrónomos vão poder estudá-los de uma forma nunca antes possível. Cientificamente, e com o devido respeito ao Sr. Nolan, o proveito vai ser largamente superior às receitas de bilheteira do *Interstellar*!

A teoria da Relatividade Geral de Einstein fará 100 anos em 2015, mas ainda tem muito para nos dar. Esta teoria é, por várias razões, uma ideia revolucionária. O espaço-tempo nas outras interacções fundamentais é apenas uma arena cujo único papel é especificar “onde” e “quando” a interacção ocorre. A gravitação descreve a arena. Einstein comprehendeu que alguns princípios básicos forçam o espaço-tempo a ganhar vida: o espaço-tempo reage a qualquer forma de energia e deforma-se, como se fosse elástico. Neste aspecto, o espaço-tempo é parecido com um trampolim, onde a elasticidade permite que seja deformado facilmente, como na Figura 1. O espaço-tempo é então uma entidade dinâmica e o conceito de forças – no qual a teoria de Newton se baseia - torna-se inútil. Segundo Einstein, a maçã de

Newton não cai devido a uma força... ela na realidade não “cai”! A massa da Terra curva o espaço-tempo e a maçã apenas “rola” livremente através dele como se estivesse acelerada. A Relatividade Geral incorpora também a outra grande descoberta de Einstein (encapsulada na relação $E=mc^2$) de que massa e energia são duas faces da mesma moeda: a massa e qualquer outra forma de energia curvam o espaço-tempo.

Ondas gravitacionais

A existência de ondas gravitacionais é fácil de entender na analogia da membrana elástica do trampolim da Figura 1. Se por alguma razão a esfera da figura forposta em movimento, são geradas ondas que se propagam, com uma velocidade que depende do material da membrana elástica. Algo semelhante acontece quando um barco navega num lago, gerando ondas à superfície. Pois bem, ondas gravitacionais são oscilações do próprio tecido do espaço-tempo que transportam energia e são produzidas quando há movimento. Neste aspecto são parecidas com o som ou a luz, mas não as conseguimos ver nem ouvir. Contudo, podemos detectá-las: quando uma onda destas passa, modifica a distância entre objectos e até mesmo o tic-tac dos relógios!

Imagine que estão no ginásio com um arco na mão e que de repente uma onda gravitacional passa por vocês. O que veriam (magnificado muitas vezes) está ilustrado na Figura 2. Existem duas formas diferentes da onda deformar o arco. Ou o veriam a oscilar na forma de um + ou de um X. Estas são as chamadas polarizações das ondas gravitacionais.

Ondas gravitacionais são consequência necessária de qualquer teoria relativista da gravidade, e não existem na teoria de Newton, onde a interação é instantânea. Na teoria de Newton, se o nosso Sol de repente desaparece, to-

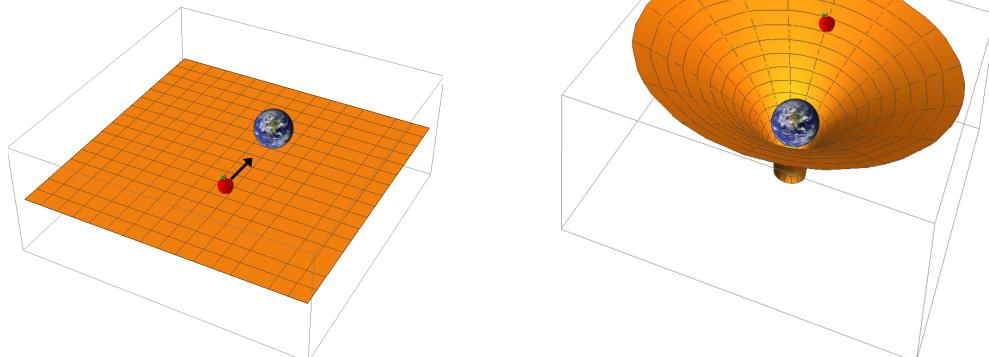


Figura 1: A gravidade na perspectiva de Newton e de Einstein. À esquerda, a maçã cai devido à força atrativa da Terra (visão Newtoniana). Esta força é descrita pela lei de Newton: proporcional à massa da maçã e da Terra e ao inverso do quadrado da distância entre elas. Na direita, a trajectória da maçã é deformada pela curvatura do espaço-tempo (visão Einsteiniana). A deformação depende da massa da Terra. O tempo também é deformado: relógios andam em geral mais devagar ao pé da superfície do que longe dela.

dos os planetas passariam imediatamente a sentir os efeitos do desaparecimento; deixariam as órbitas elípticas e passariam para órbitas rectilíneas. A teoria da Relatividade Geral incorpora a relatividade restrita, que diz que nada se propaga mais rápido que a luz. Como a luz leva cerca de 8 minutos a viajar do Sol à Terra, a Terra só pode sentir os efeitos deste desaparecimento pelo menos 8 minutos depois. Os “mensageiros” que transportam esta informação são precisamente as ondas gravitacionais que de facto viajam também à velocidade da luz.

As ondas gravitacionais produzidas por binários de buracos negros são especialmente fortes; a energia perdida por segundo sob a forma de ondas gravitacionais pode atingir

$$L \approx 10^{52} W.$$

O binário brilha mais que todo o Universo! O que acabamos de dizer é surpreendente, especialmente dado que 100 anos depois da sua previsão teórica, as ondas gravitacionais ainda não tenham sido observadas. A razão para este aparente paradoxo é simples: apesar de extremamente poderosos, estes eventos catastróficos e energéticos ocorrem (felizmente para a vida na Terra) muito longe de nós, pelo que a energia que libertam é espalhada por uma grande porção do universo.

nos mapas de polarização da radiação cósmica de fundo. Se o resultado anunciado pela colaboração estiver correcto, representa um marco em ciência por várias razões.

Em primeiro lugar, as ondas gravitacionais primordiais são produzidas por flutuações quânticas no início do Universo e seriam muito fracas para serem detectadas. Contudo, um mecanismo chamado de inflação cosmológica pode amplificá-las imenso e torná-las detectáveis. A inflação prevê uma expansão exponencial após o Big Bang, amplificando qualquer pequena flutuação até a tornar detectável nos dias de hoje. Assim, a detecção de ondas gravitacionais primordiais vindas do Big Bang seria também automaticamente uma prova da existência da inflação.

Em segundo lugar, esta detecção seria, claro, uma confirmação independente da própria existência de ondas gravitacionais.

Finalmente, a teoria clássica da Relatividade Geral e a inflação não chegam para explicar o que o BICEP 2 detectou: o mecanismo de produção das flutuações que originaram as ondas gravitacionais tem origem quântica. Assim, a detecção destas ondas é também uma confirmação da natureza quântica da gravitação, o Santo Graal de toda a física teórica das últimas décadas!

Os resultados do BICEP2, a confirmarem-se, são extraordinários por tudo o que representam em física teórica,

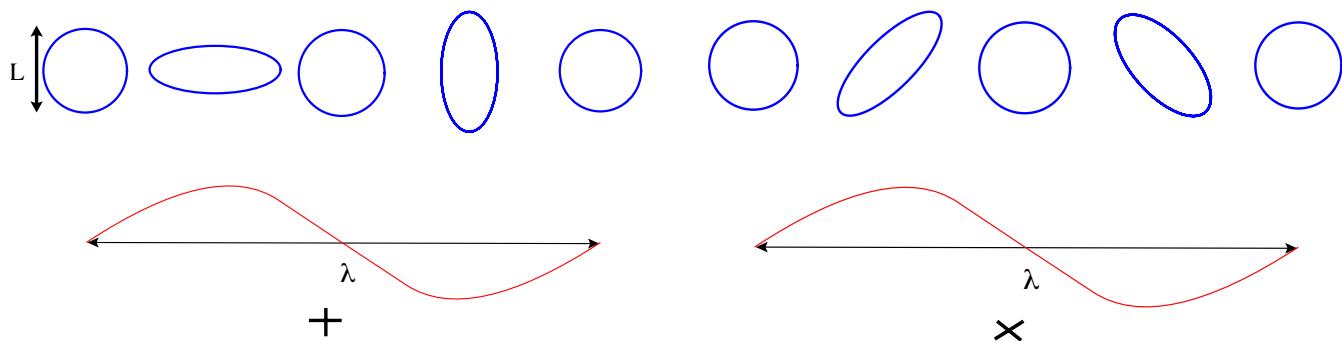


Figura 2: Deformação de um arco quando uma onda gravitacional atravessa o plano do papel. Existem dois tipos de “polarizações”: do tipo +, representada à esquerda e do tipo X, à direita. Estas duas polarizações são consequência do gravitão não ter massa, tal como os fotões.

Ondas gravitacionais primordiais

Ondas gravitacionais são o mensageiro ideal para transportar informação vinda do início do Universo, há cerca de 14 mil milhões de anos. Em Março de 2014, a colaboração BICEP (com um telescópio no Pólo Sul) anunciou a primeira detecção de ondas gravitacionais produzidas durante os primeiros¹ tempos de vida do Universo. A experiência mediu a polarização da radiação cósmica de fundo, a relíquia do Big Bang. Devido ao efeito representado na Figura 2, as ondas gravitacionais causam um efeito peculiar nestes fotões, sob a forma de “remoínhos” (chamados modos-B)

astrofísica e cosmologia. Por isso mesmo, devem ser es-
crupulosa e meticulosamente verificados. A interpretação
da polarização da radiação cósmica de fundo em termos
de ondas gravitacionais está neste momento em debate.
No momento em que este artigo está a ser escrito, duas
das maiores experiências - PLANCK e BICEP - estão a unir
esforços para analisarem os dados em conjunto de forma
a chegarem a uma resposta final que seja clara e com que
todos concordem. A resposta final deve ser dada em 2015.

O que é que o universo nos está a dizer? Seja o que for, representará um grande salto na forma como o entendemos. Continuem à escuta... ■

Metamateriais

Um olhar pelo intrigante mundo dos metamateriais

por André Lopes, aluno do 5º ano do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST

Hoje, em pleno século XXI, muitos são os materiais que formam a base de toda a tecnologia presente nos nossos dia-a-dias. O estudo dos materiais sempre foi, e continua a ser, de extrema importância. A dependência da Humanidade do avanço tecnológico tem levado desde sempre ao aprofundamento do conhecimento, quer teórico, quer prático, de materiais inovadores com propriedades novas capazes de introduzir no quotidiano novas aplicações e melhorar algumas das existentes.

A interacção da radiação com os materiais continua a ser objecto de estudo da Física nos dias de hoje. Do electromagnetismo e óptica, sabemos que esta interacção é governada pelas características fundamentais dos materiais ϵ (permitividade eléctrica) e μ (permeabilidade magnética). Na grande generalidade dos materiais existentes hoje em dia estas duas quantidades físicas assumem partes reais positivas. Ora, tal coisa não acontece no chamado metamaterial, onde ambas são tendencialmente negativas. Os metamateriais são materiais artificiais constituídos por átomos artificiais e é deste tipo de estrutura que advêm as propriedades dos metamateriais e não da sua composição química. Do que se conhece hoje, tais materiais não existem no estado natural mas o estudo de estruturas capazes de criar estas características já possibilitou a criação de mini estruturas que exibem as características que um metamaterial teria caso existisse naturalmente.

Recordando que duas das equações de Maxwell escritas no espaço recíproco, para ϵ e μ arbitrários, são escritas na forma

$$\vec{k} \times \vec{E} = \mu \frac{\omega}{c} \vec{H}$$
$$\vec{k} \times \vec{H} = -\epsilon \frac{\omega}{c} \vec{E}$$

podemos perceber que, quando estamos num material caracterizado por ϵ e μ negativos, fenómenos novos tomam lugar. Na verdade, repare-se que uma das coisas mais rápidas de perceber é que, contrariamente ao comum dos materiais, num metamaterial os vectores \vec{k} , \vec{E} e \vec{H} constituem um triplete dado pela mão esquerda e não pela direita - daí o nome dado a estes (meta)materiais de *Left Handed Metamaterials* (LHM). Para além de outras propriedades que lhes são reconhecidas, um metamaterial apresenta também a curiosa característica de ter o vector de Pointing (\vec{S}) no sentido contrário ao vector de onda \vec{k} , i.e. possui uma velocidade de grupo negativa ou antiparalela à velocidade de fase. Outra característica intrigante no mundo dos metamateriais é que a refracção de feixes de luz não ocorre da mesma forma que num material comum. Na verdade o raio refractado fica exactamente do mesmo lado da normal que o raio incidente. Mais, vejamos que pela definição de índice de refracção $n = \sqrt{\epsilon\mu}$ e uma vez que ϵ e μ são grandezas complexas com partes reais negativas, este toma um valor negativo para este tipo de material – donde provém o segundo nome pelo qual são conhecidos *Negative Refracting Media* (NRM).

Grande parte do interesse que hoje em dia existe na exploração deste tipo de material é devida à flexibilidade

Estrutura de um metamaterial

As primeiras estruturas com comportamento semelhante aos metamateriais são basicamente uma rede de fios e anéis que, quando dispostos de uma forma específica, permitem conferir à estrutura um índice de refracção negativo. Hoje em dia, várias formas de anéis e disposições têm sido estudadas de forma a aplicar o uso destas estruturas à zona da luz visível. As dimensões típicas das estruturas de metamateriais actuais são da ordem dos milímetros-centímetros, o que significa que apenas ondas de luz com frequências na ordem das microondas conseguem propagar-se dentro destes materiais.



Estrutura periódica de fios e anéis metálicos - metamaterial



Refracção da luz usual (fotografia à esquerda) e negativa (montagem à direita). Fonte: Universidade de Viena

que se tem em produzir diferentes formas destes objectos para diferentes propósitos. O conhecimento de como produzir um sistema que possua permitividades e permeabilidades negativas tem avançado significativamente nos últimos anos, tornando-se a concretização prática de uma teoria que começou a ser desenvolvida nos anos 60 pelo físico russo Victor Veselago.

Até hoje já foram construídas estruturas que permitem observar as propriedades exóticas destes materiais, no entanto muito ainda há a fazer, nomeadamente conseguir utilizar estes materiais com luz visível. Ainda assim, esta área de estudo tem recebido nos últimos anos grandes quantidades de investimento, pois os metamateriais representam uma forma de renovar alguma da tecnologia que hoje em dia já é insuficiente para a ciência que se pretende estudar. Um exemplo disso é a possibilidade de se criar lentes com uma capacidade de focagem bem maior do que as actuais, permitindo a análise mais detalhada de, por exemplo, cadeias de ADN. Tal deve-se à exata extraordinária capacidade de focagem que um metamaterial possui. Pensa-se que a insistência no estudo destes materiais culmine na criação de cristais que possam substituir os actuais chips, utilizando luz para comunicar em vez de electricidade. Torna-se, portanto, notável a potencialidade que materiais tão estranhos e exóticos como estes têm e a vasta gama de aplicações que podem trazer para o quotidiano.

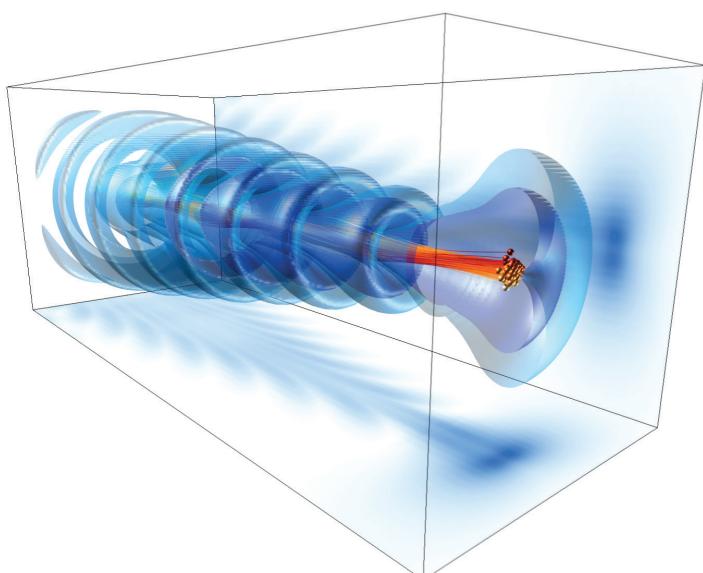
Hoje é claro, que o que começou por ser uma questão de interesse científico, transformou-se no objecto de estudo intenso com fins práticos e concretos um pouco por todo o mundo. É, então por isso, uma área que irá trazer resultados nos próximos anos e que incutirá, com certeza, na comunidade científica o interesse de, cada vez mais, explorar questões/problemas que à primeira vista não têm mais do que interesse meramente académico. ■

Propriedades exóticas

Além da refracção anómala, outro dos fenómenos estudados mais intrigantes no que respeita à interacção partícula carregada-metamaterial é a emissão da radiação de Cerenkov quando a partícula passa pelo metamaterial com velocidade superior à velocidade de fase da luz no mesmo. Num material comum, o cone de emissão propagar-se-ia na direcção do movimento da partícula, contrariamente ao que se verifica num metamaterial. O cone de radiação de Cerenkov propaga-se no sentido contrário ao da propagação da partícula.

Aplicações

A possibilidade de melhorar algumas das tecnologias existentes hoje em dia é o que torna estes materiais especialmente atraentes. A sua utilização na produção de super lentes, permitirá uma capacidade de resolução muito maior do que as actuais lentes de índice de refracção positivo. Espera-se inclusivamente que se consiga resolução para tamanhos menores que o comprimento de onda da luz usada. Outra aplicação curiosa é a possibilidade de tornar realidade a invisibilidade. Dadas as propriedades destes materiais, a possibilidade de criar condições para tornar objectos realmente invisíveis ao olho humano é uma realidade. O método para o fazer tem sido objecto de estudo intenso e poderá tomar forma física nos anos vindouros.



Cone de radiação Cerenkov num metamaterial.
Créditos: Paulo Alves, GoLP/IPFN

Lasers e espectrómetros de massa

Do CSI ao património

por Rita Teixeira da Costa, 2º ano do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST

No local de um crime, os técnicos procuram vestígios de ADN que permitam recontar a sequência de eventos que tomou lugar. No estudo de uma pintura, a composição química dos materiais utilizados permite identificar restauros. De facto, a assinatura química de um material conta sempre uma história.

Assinatura química de um material consiste no conjunto dos elementos químicos vestigiais aí presentes. Assim, a sua determinação exige a análise elementar desse material, ou seja, a identificação e quantificação dos elementos que o constituem. A espectrometria de massa é uma forma de pôr a assinatura química a descoberto, pois permite identificar os elementos numa amostra: esta é atomizada e ionizada, sendo os iões separados de acordo com a sua razão massa/carga.

Espectrómetros de massa

Num espectrómetro de massa rudimentar, os iões, com carga q , entram, com velocidade v , numa região com um campo magnético uniforme, \mathbf{B} . Se v e \mathbf{B} são vectores perpendiculares, então a força magnética sobre os iões tem intensidade $F = qvB$ e é uma força centrípeta, isto é:

$$F = \frac{mv^2}{R} = qvB \Leftrightarrow R = \frac{mv}{qB}$$

Assim, os iões descrevem movimentos circulares uniformes com diferentes raios consoante a sua razão carga/massa, pelo que, mantendo a razão v/B constante para todos os iões, é possível separá-los de acordo com este critério [Figura 1].

Os espectrómetros de massa actuais são mais complexos, e permitem detectar elementos em baixas concentrações com uma grande precisão. No entanto, em muitos, a separação continua a ser feita por acção de campos magnéticos, e é o processo de formação de iões que pode diferir significativamente entre aparelhos. No Laboratório HERCULES da Universidade de Évora, existe, desde 2014, um espectrómetro de massa com plasma acoplado indutivamente (ICP-MS).

vamente (8800 Triple Quad ICP-MS, Agilent Technologies) [Figura 2], capaz de detectar concentrações da ordem das partes por trilião, ou seja, de determinar a assinatura química de uma amostra. Nestes aparelhos, a amostra é ionizada pelo contacto com um plasma (ou seja, gás ionizado) de árgon.

Triple Quad ICP-MS

Na tocha, segmento inicial percorrido pela amostra, o ICP-MS [Figura 3] apresenta três tubos concêntricos. Para o tubo central, é bombeada a amostra, enquanto, nos restantes tubos, circula árgon puro. À saída da tocha, uma bobina atravessada por corrente alternada gera um campo magnético variável que fornece, através de indução electromagnética, a energia necessária para que o árgon do tubo intermédio seja ionizado e forme um plasma. No tubo exterior, o árgon é usado para impedir a fusão do quartzo na tocha.

Como o árgon é um gás nobre e, por isso, pouco reativo, é necessária uma grande quantidade de energia para o ionizar; pelo que o plasma assim formado é muito energético e tem a capacidade de quebrar ligações entre partículas e retirar um electrão (só raramente dois) a quase todos os átomos existentes. Assim, a amostra que circula no tubo interior é atomizada e quase completamente ionizada pela "chama" de plasma [Figura 4] que se forma após a bobina. As exceções que, por isso, não são mensuráveis no ICP-MS são: gases nobres, carbono, azoto, oxigénio, flúor e hidrogénio.

Por acção de um campo magnético, apenas os iões são capturados, através de uma interface, para o espectrómetro de massa, mantido em vácuo, sendo os átomos

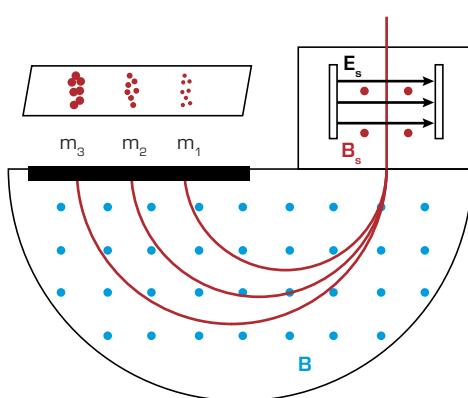


Figura 1: Esquema de um espectrómetro de massa simples.

O campo magnético é indicado pelos pontos coloridos da imagem, apontando para dentro da folha. A força magnética que actua sobre os iões é tal que estes adquirem trajectórias circulares de raio dependente da sua razão massa/carga. Projectando-os sobre um alvo, é possível obter um espectro, com os elementos químicos da amostra separados consoante a sua massa.



Figura 2: Laser Ablation and Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer (LA-ICP-MS), com Triple Quad ICP-MS à esquerda e LA (Nd:YAG) à direita (Laboratório HERCULES).

neutros descartados. Dentro do espectrómetro, o feixe de iões é colimado [os seus raios são tornados paralelos] e direcionado ao analisador de massa.

O Triple Quad contém analisadores de massa com quadrupólos, conjuntos de quatro varas atravessados por correntes, que geram o campo magnético capaz de separar os iões. Iões de diferentes massas são, sequencialmente, deixados passar para o detector. No detector, existe uma sequência de eléctrodos de metal que, ao serem estimulados, geram um sinal eléctrico. À medida que o efeito dos iões sobre o primeiro eléctrodo é propagado para os seguintes, o sinal é amplificado numa proporção previsível. Este processo permite a quantificação do elemento na amostra.

Ablação por laser

Muito frequentemente, as análises no ICP-MS são feitas com amostras líquidas ou sólidos digeridos (dissolvidos, ou degradados de alguma forma), introduzidas com um nebulizador. Este tipo de análise exige uma preparação morosa e significa a destruição completa da amostra. Para além disso, não assegura uma boa resolução espacial: não permite analisar pontos únicos, mas apenas uma porção considerável da amostra.

Assim, em amostras com elevado valor monetário ou patrimonial, ou quando se pretende uma melhor resolução espacial, utiliza-se uma outra técnica: a ablação por laser (LA). Apesar das suas vantagens, só existe, actualmente, em Portugal, um sistema de ablação por laser ligado a ICP-MS (LA-ICP-MS) [Figura 1], que se encontra no Laboratório HERCULES.

Na ablação, a amostra é atingida por um laser muito potente que, ao incidir sobre a superfície da amostra, é capaz de atomizar e ionizar a camada superficial atingida, formando uma pequena bolha de plasma que, em conjunto com o laser, contribui para a extracção de material particulado, da cratera formada. Com um fluxo de hélio, o material extraído entra no ICP-MS, onde é atomizado, ionizado e analisado, pelo processo anteriormente descrito.

Ao longo do tempo de ablação, o sistema de aquisição de dados do LA-ICP-MS regista o número de contagens por segundo de cada elemento.

Como o diâmetro da cratera formada se situa entre os 4 µm e os 200 µm [regulado pelo utilizador], uma análise pontual pode exigir apenas alguns microgramas de amostra. Assim, esta técnica é significativamente menos invasiva que uma análise por ICP-MS com a amostra digerida.

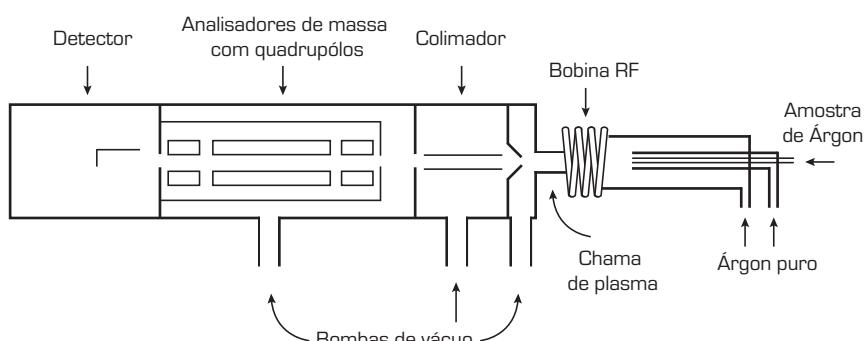


Figura 3: Esquema de um Triple Quad Inductively Coupled Plasma MS.

No espectrómetro de massa, bombas mantêm o vácuo, que permite a eliminação de interferências provocadas pela interacção com os gases atmosféricos.

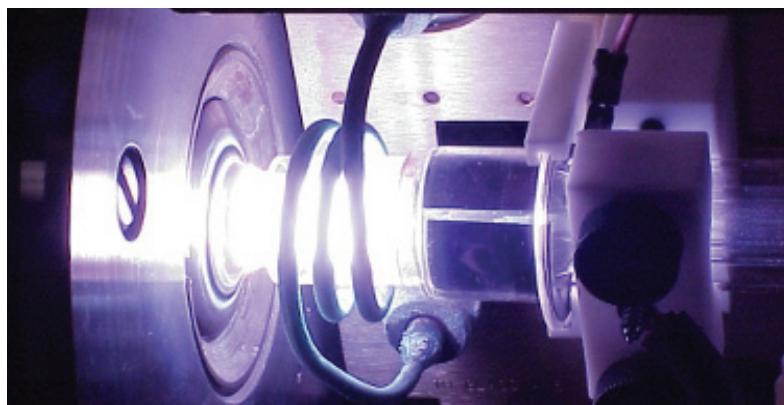


Figura 4: “Chama” do plasma de árgon no Triple Quad ICP-MS (Laboratório HERCULES).

Aplicações do LA-ICP-MS

As aplicações da ablação por laser abrangem várias áreas: ciências forenses, biologia, geologia, estudos materiais, arqueometria, etc.

No Laboratório HERCULES, o LA-ICP-MS é usado, principalmente, para o estudo do património e, mais concretamente, para a caracterização de artefactos arqueológicos relevantes. Em conjunto com os resultados obtidos por outras técnicas de análise, a quantificação dos elementos permite fazer estudos de proveniência, ou seja, localizar espacial e temporalmente a matéria-prima usada num objecto. Noutros casos, é usado para caracterizar os materiais envolvidos no fabrico de um objecto.

Com este objectivo, estão, actualmente, a ser desenvolvidos estudos sobre cerâmicas vidradas encontradas na região de Coimbra, datadas dos séculos XV a XVI. Estes objectos foram encontrados num poço anteriormente selado que também contém restos de cerâmicas romanas e medievais, em estratos diferenciados.

A análise com LA-ICP-MS da superfície vidrada destas cerâmicas [Figura 5], no Laboratório HERCULES, permitiu identificar porções significativas de chumbo. Esta assinatura química indica que as cerâmicas estão cobertas por vidrado de chumbo.

Para estudos deste tipo, interessa proceder-se a análises superficiais numa região da amostra e espera-se que o número de contagens por segundo de cada elemento seja estável ao longo da ablação. Mas, por vezes, a análise elementar por ablação é feita de modo a traçar um perfil da variação da concentração de alguns elementos à medida que se penetra na amostra, pelo que é essencial que exista variação no número de contagens por segundo.

Uma aplicação interessante deste tipo de análise é o estudo de ambientes marinhos antigos através da ablação por laser de corais, a ser desenvolvida no HERCULES. Estes animais crescem formando camadas consecutivas de minerais, cuja constituição depende das condições marinhas no momento da formação. Devido à longevidade destes animais, o estudo elementar dos estratos minerais pode fornecer pistas quanto à alteração dos ambientes marinhos ao longo do tempo e permitir estabelecer modelos capazes de prever a sua evolução.

Actualmente, sabe-se que os rácios de concentrações estanho/cálcio e bário/cálcio, por exemplo, mostram correlações com a temperatura marinha e o fluxo de sedimentos na região de crescimento dos corais, respectivamente. ■

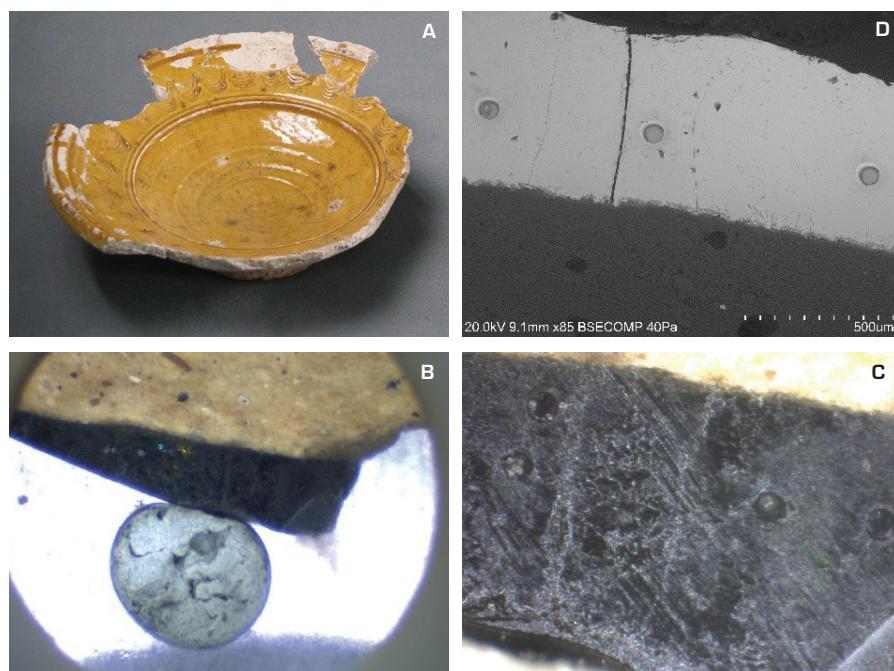


Figura 5: Estudo de uma cerâmica do século XV-XVI encontrada em Coimbra. (A) mostra uma fotografia a luz visível da cerâmica. (B) e (C) são fotografias de um fragmento dessa cerâmica embebido em resina e visto sob a lupa do LA-ICP-MS, com diferentes ampliações, sendo a região escura a correspondente ao vidrado. Em (C), são visíveis as crateras da ablação. (D) é uma imagem das crateras da ablação com microscópio de varriamento electrónico (SEM).

Evolução do Pensamento Científico

Ciência e Sociedade

por André Gonçalves, aluno do 2º ano do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST

A Ciência é feita de nomes, é feita de pessoas. É quem a faz e quem dela beneficia. As descobertas científicas são um serviço ao dispor da comunidade: a Ciência pode dar respostas que podem mudar a forma de pensar o mundo.

Desde os primeiros filósofos na Ásia, passando pela Antiga Grécia no séc. VI AC, todos refletiram sobre a necessidade de obter respostas acerca do Universo que nos rodeia, e de que matéria somos feitos. Estas questões revelaram-se bastante importantes para o pensamento na Sociedade que se contrapunha com as crenças mitológicas e religiosas sobre a própria origem da vida. Múltiplas teorias foram emergindo, desde Aristóteles que reflete sobre a natureza das coisas, passando por Pitágoras que punha a ideia de número como central em todas as respostas para o Universo, ideia que talvez agrade aos matemáticos.

Por outro lado, o Homem faz Ciência desde que existe. Desde a mais primitiva idade da Pedra o ser humano teve a necessidade de se superar, de inventar tecnologia da época que lhe permitiu ser mais robusto, mais apto para o seu ambiente e mais preparado para vencer as dificuldades.

As formas de pensar Ciência foram ganhando forma - Aristóteles postula no séc. IV AC os princípios indutivo e dedutivo, debruçando-se no segundo, mas afirmando sem dúvida que o primeiro é a base mais íntima da forma de fazer Ciência - qualquer resposta científica parte do particular para o geral, de forma indutiva e segundo princípios coerentes que a sustentem, o que é posteriormente reafirmado por Francis Bacon, ensaísta inglês do séc. XVI.



A partir de então começam a surgir toda a Física, a Química e a Biologia que hoje conhecemos, que passam pelo Renascimento e nos chegam actualmente, sobre as quais tentamos sempre investigar e revolucionar.

A visão da Ciência foi, pela mão dos seus mais geniais representantes, sendo alterada e a Sociedade foi-se apercebendo da importância das descobertas científicas no mundo. Um caso representativo são as descobertas marítimas portuguesas onde a conjunção de uma grande capacidade

*"The saddest aspect of life right now is that science gathers knowledge faster than society gathers wisdom".
Isaac Asimov*



Séculos depois, a Ciência Moderna toma lugar; pela mão de Galileu, que descreve o método científico e revoluciona a maneira de ver o mundo - esta mudança de paradigma, tal como afirmado por Thomas Kuhn, troca a visão essencialista da Grécia Antiga por uma visão muito mais explícita sobre o objectivo da Ciência. As respostas científicas passam agora a ser algo que busca um objectivo, que questiona sobre o estado do mundo, e produz respostas enquadradas na metodologia de Galileu.

pragmática, bem como um espírito científico aguçado, permitiram levar o nome de Portugal pelo mundo.

A Ciência vai-se desconstruindo, vai alterando os seus paradigmas e métodos de pensar de modo a que se enquadrem na visão do mundo - é por isso que nenhuma outra área saberá tanto sobre o mundo, porque lhe falta a maleabilidade que o pensamento científico teve para evoluir ao longo dos tempos. ■

Levitação Quântica

Quando o fotão ganha massa



por Miguel Jaques e João Braz, alunos Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST

Apesar de apelar ao imaginário da ficção científica, não só pelo nome pomposo mas pela espectacularidade do efeito em si, este fenómeno resulta apenas da interacção entre dois materiais. Tal interacção assenta, no entanto, num mecanismo fundamental, muito para além do imaginário de qualquer ficção, que emerge no seio dos materiais supercondutores.

Procurando no *Youtube* por “Quantum Levitation” rapidamente se encontram vários vídeos, de maior ou menor espectacularidade, que têm como elemento comum o seguinte: ao arrefecer-se um disco de um material chamado supercondutor a uma temperatura muito baixa e colocando este disco sobre um íman (sem se tocarem), ele fica a levitar em pleno ar, totalmente fixo acima do íman, com a mesma estabilidade de uma superfície plana (Figura 1). Este fenómeno é, essencialmente, o que se chama de levitação quântica e é, apenas aparentemente, semelhante ao fenómeno muito mais habitual de repulsão entre dois ímanes ao aproximarem-se pelo mesmo polo. Aqui, no entanto, o efeito é ainda mais notável: não só podemos fixar o disco no ar, com qualquer orientação, ao colocá-lo sobre o íman, como podemos fazer o mesmo se virrarmos o íman ao contrário e pusermos o disco sob o íman, sem que o disco caia sob efeito da gravidade. Em alguns dos vídeos mostra-se até um supercondutor a percorrer uma pista circular de ímanes sem alguma vez alterar a sua orientação ou sequer desviar-se do percurso.



Figura 1: Material supercondutor a levitar num campo magnético criado por um íman. Fonte: tested.com

Este fenómeno é, por si só, altamente curioso e contraintuitivo, e não é preciso pensar muito para imaginar uma dúzia de aplicações desta interacção dignas da mais mirabolante ficção científica. Afinal, de todos os materiais conhecidos até hoje, nenhuma outra combinação manifesta um comportamento tão extraordinário e tão facilmente observável. Cocomos a cabeça e perguntemo-nos: O que é que se passará entre um íman e um supercondutor?

Os ímanes são materiais muito conhecidos e até po-

dem parecer desinteressantes, de tão comuns que são no nosso dia-a-dia. São de tal maneira comuns que a porta do frigorífico que está na cozinha é, provavelmente, um laboratório adequado para os ver em funcionamento: atraindo-se ou repelindo-se consoante se aproximam segundo uma ou outra orientação. Este interacção resulta dos campos magnéticos produzidos espontaneamente pelos ímanes e que, por isso, são considerados materiais magnéticos. Nada de novo, por agora.

Os supercondutores, por outro lado, são ainda pouco familiares. Enquanto é possível colocar muitas dezenas de pequenos ímanes agarrados ao exterior de um frigorífico doméstico, muitas dezenas desses mesmos frigoríficos não seriam suficientes para arrefecer um pequeno supercondutor até à sua temperatura crítica, a partir da qual o material tem realmente as propriedades de um supercondutor. Notemos que os ímanes são conhecidos há milhares de anos (os antigos Egípcios já conheciam materiais magnéticos) e os supercondutores só foram descobertos em 1911, pelo físico holandês Heike Kamerlingh Onnes, uma vez que estes materiais só manifestam as suas propriedades únicas a baixo da chamada temperatura crítica. Esta temperatura é inferior a -200°C para todos os supercondutores conhecidos actualmente, muito longe da temperatura ambiente, levantando várias dificuldades técnicas à sua observação e aplicação.

No entanto, abaixo desta temperatura crítica, ou seja, na fase supercondutora, a propriedade que dá nome ao material é imediatamente observável: a sua resistência eléctrica, bem como a energia dissipada pela corrente eléctrica que a atravessa, caem subitamente para zero. Diz-se, portanto, que tem condutividade perfeita, ou infinita, e, até à sua descoberta, este comportamento surpreendente nunca tinha sido observado em qualquer outro material, tendo desde aí captado muita atenção por parte dos físicos, tanto teóricos como experimentalistas. Consequentemente, os materiais que adquirem uma fase em que se manifesta este tipo de condutividade ficaram conhecidos por supercondutores.

Apesar de singular e surpreendente, esta propriedade, por si só, continua sem explicar a famigerada levitação. Para isso, é preciso entender outro fenómeno característico dos supercondutores, fundamentalmente relacionado com a condutividade perfeita de um supercondutor e igualmente surpreendente: o efeito de Meissner, que demonstra, basicamente, que um material na fase supercondutora não gosta de campos magnéticos. Isto é, um material na fase supercondutora consegue repelir o fluxo do campo

magnético do interior do seu volume.

Este efeito é flagrante: tendo um supercondutor imerso num campo magnético de baixa intensidade e variando a temperatura, as linhas de campo magnético serão totalmente expulsas do interior do supercondutor para temperaturas abaixo da temperatura crítica (Figura 2), em virtude das correntes eléctricas no supercondutor não terem qualquer resistência e, portanto, conseguirem mover-se de modo a anular totalmente o campo magnético no interior. Por outro lado, o comportamento dos supercondutores é radicalmente diferente na presença de campos magnéticos intensos, de tal forma que estes são classificados em dois tipos:

Tipo I, para os quais acima de um limite de intensidade de campo magnético a fase supercondutora é destruída;

Tipo II, que têm um limite semelhante aos de Tipo I mas que para cima do qual a fase supercondutora não é totalmente destruída. Em vez disso, algumas linhas de campo magnético podem atravessar o volume do supercondutor, se este for suficientemente fino, criando quantidades bem definidas, ou quantizadas, de fluxo de campo magnético. Estas linhas de campo magnético destroem a supercondutividade apenas localmente, em regiões com um raio da ordem das dezenas de nanómetro, ou seja, ínfimo em comparação com as dimensões do material.

Aos fluxos quantizados chamam-se vórtices quânticos, ou fluxões, e, em conjunto com o efeito de Meissner, são funda-

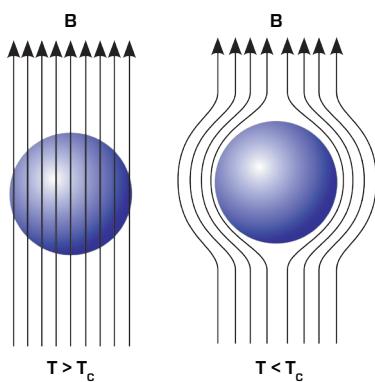


Figura 2: Esquema das linhas de campo magnético na presença de um supercondutor Tipo I a uma temperatura acima (esquerda) e abaixo (direita) da temperatura crítica.

mentais no fenômeno de levitação quântica, pois a existência apenas desse efeito levaria a que o supercondutor flutuasse instavelmente sobre o ímane e seria impossível sustentar o equilíbrio que se observa. Por sua vez, os vórtices quânticos criam pequenas regiões fora da fase supercondutora no interior do material, à volta das quais podem circular as mesmas correntes responsáveis pelo efeito de Meissner, impedindo o fluxo de campo magnético de se deslocar para outras regiões e, consequentemente, impedindo o próprio material de mudar de posição. O resultado, aquele a que queríamos chegar, é que o material supercondutor fica suspenso no ar e fixo na mesma posição, em virtude da subtil interacção entre os fotões que transportam o campo magnético e os electrões que transportam a corrente eléctrica do supercondutor.

A verdade é que grande parte deste jogo de fluxos de campo e correntes eléctricas pode ser descrito de forma muito mais simples e eficaz, e é disso que se trata a segunda parte do título deste artigo, discutivelmente mais misteriosa do que a primeira.

Acontece que os fotões, portadores da força electro-magnética [desde os campos eléctricos e magnéticos até às ondas de luz], que não têm massa, tornam-se massivos ao entrar no interior de um supercondutor. Esta mudança inesperada resulta das interacções complexas dos electrões do material, tais que um fotão, ao entrar num supercondutor e interagir, comporta-se como tendo efectivamente uma massa e, portanto, um alcance finito e muito reduzido, da ordem das centenas de nanómetros. Como tal, o campo magnético não se propaga no interior do supercondutor.

Não é de estranhar que este fenômeno pareça algo semelhante à descoberta científica mais badalada dos últimos anos: o bosão de Higgs, descoberto oficialmente em 2012. A verdade é que não é apenas parecido, o mecanismo é o mesmo: tanto o Modelo Padrão (a teoria das interacções fundamentais actualmente estabelecida, no qual o bosão de Higgs se enquadra) como a supercondutividade são sistemas que têm, nas estruturas das respectivas interacções, os elementos necessários e suficientes para a emergência deste mecanismo que dá massa a certas partículas. No caso do Modelo Padrão, estas partículas são as portadoras da força nuclear fraca, responsável por fenômenos como os decaimentos radioactivos e a fusão nuclear.

É nada menos do que profundamente fascinante o facto de se poder começar por fantasiar sobre as potenciais aplicações que um fenômeno bizarro à nossa intuição pode oferecer, desde as mais úteis ferramentas aos maiores clichés importados da ficção-científica, inevitavelmente conduzindo à questão de quais os mecanismos por trás desse fenômeno, e acabar por constatar que o mecanismo fundamentalmente responsável por um efeito tão directamente observável está também no cerne de forças fundamentais que, em última análise, moldaram o Cosmos.

A todos os que não foram apanhados desprevenidos por este *plot twist*, acusem-se, estão de parabéns! Aos restantes, bem-vindos a Física. ■

Atenção!

Nos supercondutores não surge um bosão de Higgs como o que foi intensamente procurado ao longo de décadas em aceleradores de partículas ultratecnológicos. Trata-se de um mesmo mecanismo que descreve o comportamento de dois sistemas que existem e actuam a escalas totalmente diferentes, de uma maneira análoga a como um campo gravítico e um campo electroestático criados, respectivamente, por uma massa e por uma carga pontual têm a mesma dependência espacial – o conhecido inverso da distância ao quadrado – apesar de existirem e actuarem a escalas totalmente diferentes.

O que está a dar é o 3D

por Ana Onofre, aluna do 2º ano do Mestrado Integrado em Eng. Física, FCT-UNL

Já pensou o quanto fantástico seria se pudéssemos imprimir uma réplica tridimensional da nossa própria tíbia ou mesmo do rim em 3 ou 4 horas? Já é possível graças à tecnologia de impressão 3D.

A impressão 3D é semelhante à impressão tradicional. A tinta dá lugar a um pó seco e fino como o titânio em pó, que com uma cola líquida forma as camadas de um objecto sólido e oco. Este objecto é criado a partir de um modelo 3D computorizado, um ficheiro CAD (Computer-Aided Design), e os dados inseridos ditam onde depositar o material em cada camada e todo o processo decorre numa superfície estável e não aderente.

Esta tecnologia deu os primeiros passos no final da década de 70, mas só em 2002 é que teve um grande marco quando uma equipa de cientistas criou um rim em miniatura com capacidade de filtrar sangue, o que fez com que a impressão de órgãos pudesse avançar.

Uma grande aplicação da impressão 3D está na Medicina, na criação de partes do corpo. Os investigadores voltaram-se para "o 3D" porque o nível de detalhe é enorme e pode substituir métodos mais antigos, oferecendo uma maior compatibilidade e melhor design. O preço desta tecnologia tem vindo a baixar e, consequentemente, mais pessoas poderão ter acesso às suas capacidades.

Um dos casos mais incríveis na área da impressão 3D foi a reconstrução quase total de um crânio! Uma intervenção pioneira, em Março de 2014 na Holanda, por uma equipa do Centro Médico da Universidade de Utrecht. Uma paciente sofria de uma doença crónica óssea que provocava o espaçamento do crânio o que levou à perda gradual



Primeiro implante craniano produzido por impressão 3D.

da visão. O implante craniano que recebeu, feito de um plástico, trouxe maiores vantagens em relação ao método antigo. No método antigo as partes cranianas removidas são substituídas por pequenos implantes que têm como função preencher a falha e diminuir a pressão craniana e o material utilizado, cimento (mas não o das obras), não é o mais compatível com a anatomia e função cerebral. Com a nova técnica, verificou-se uma maior funcionalidade cerebral a longo prazo, sem consequências, podendo retomar uma vida normal.

E olhos? A pala à pirata é coisa do passado. Uma empresa no Reino Unido, Fripp Design está a desenvolver em conjunto com várias universidades próteses faciais e olhos impressos em 3D. Os dados para o modelo são obtidos de maneira indolor através de fotometria, técnica que utiliza câmaras para medição, que são depois cruzados com os resultados de uma Ressonância Magnética e uma TAC para assegurar uma maior compatibilidade. O pormenor das próteses é tão incrível quanto as variedades de tamanhos e cores para as próteses oculares, como a possibilidade de inserir o tom de pele original ou mesmo sardas nas faciais (orelhas ou narizes). Os produtos desenvolvidos são baratos e fabricados em grandes quantidades, originando uma implantação a baixo custo, o que é óptimo para as vítimas de acidentes que não têm de pagar exorbitâncias por próteses que demoram meses a ficarem "perfeitas".

Uma grande vantagem da utilização de impressão 3D para os seus utilizadores é que, enquanto outros métodos de produção de implantes, a prótese/implante pode demorar dias a estar concluída com a impressão 3D o produto está finalizado em poucas horas. Pessoas que usufruem desta tecnologia realçam a sua qualidade na compatibilidade, no tempo de execução e no método pouco invasivo no processo de obtenção de dados. Quem sabe o futuro não poderá estar no 3D. ■



Orelha Biônica

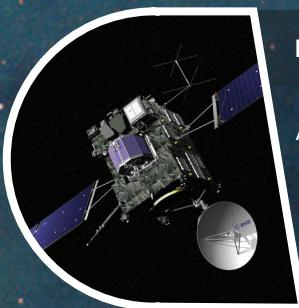
Uma equipa de engenheiros da Universidade de Princeton imprimiu uma orelha a partir de células de vitela e nanopartículas de prata e um hidrogel - polímero base da engenharia de tecidos - que vão criar uma antena enrolada que substitui a cóclea. As células amadurecem para criar cartilagem e é integrada, no molde final, a componente electrónica. Esta orelha capta sinais de frequência rádio, capacidade sobre-humana, e dizem os criadores que é possível ouvir música em áudio estéreo.

Agenda Científica



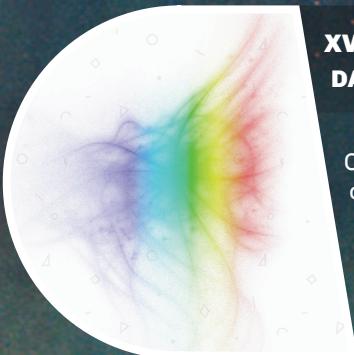
Noites no Observatório

No último sábado de cada mês no Observatório Astronómico de Lisboa na Tapada da Ajuda, decorrem sessões que se iniciam com uma palestra (por volta das 21h30) e seguem com observações astronómicas que decorrem em contínuo até às 24h. O tema de cada palestra varia de mês para mês e está sujeito a inscrição no site oal.ul.pt > Noites no Observatório.



Rosetta no rasto do cometa (Ciência Viva)

Até 31 de Janeiro é possível visitar a exposição "Rosetta no Rasto do Cometa" patente no Pavilhão do Conhecimento. Esta exposição é composta por painéis interactivos, um modelo do cometa 67 P impresso em 3D e um jogo multimédia. Trata-se de uma excelente oportunidade para ficar a saber de onde vêm os cometas e qual a sua importância para conhecer as origens do Sistema Solar.



XVIII Semana da Física

DATA: 2 a 7 de Fevereiro

LOCAL: Instituto Superior Técnico, Lisboa

Organizada pelo Núcleo de Física do IST, decorre mais uma Semana da Física, onde jovens e curiosos poderão aprender mais sobre simples fenómenos físicos. Além de visitas a laboratórios, a Semana da Física tem para oferecer sessões de planetário, viagens pelo Circo da Física e Mini-Cursos. Este ano a Semana da Física conta com mais um dia (Sábado!), dedicado a receber o público em geral. Mais informações em sf18.nfst.pt



"À DESCOBERTA DA LUZ" - Concurso Feira de Ciências IYL2015

No âmbito das comemorações do IYL2015 em Portugal, a Sociedade Portuguesa de Óptica e Fotónica, SPOF, e a Associação Hands-on Science Network, HSCI, com o apoio da Sociedade Europeia de Física, lançaram no início de Setembro de 2014 um concurso nacional Feira de Ciências IYL2015/Portugal sob o tema "À DESCOBERTA DA LUZ". Serão consideradas contribuições de várias formas, desde experiências hands-on a demonstrações experimentais, posters, palestras e workshops, dramatizações e outras expressões artísticas como desenhos, esculturas ou contos e poemas. Seja em que formato for, é caso para dizer que o importante é a imaginação e engenho dos participantes.

2015

International Year of Light