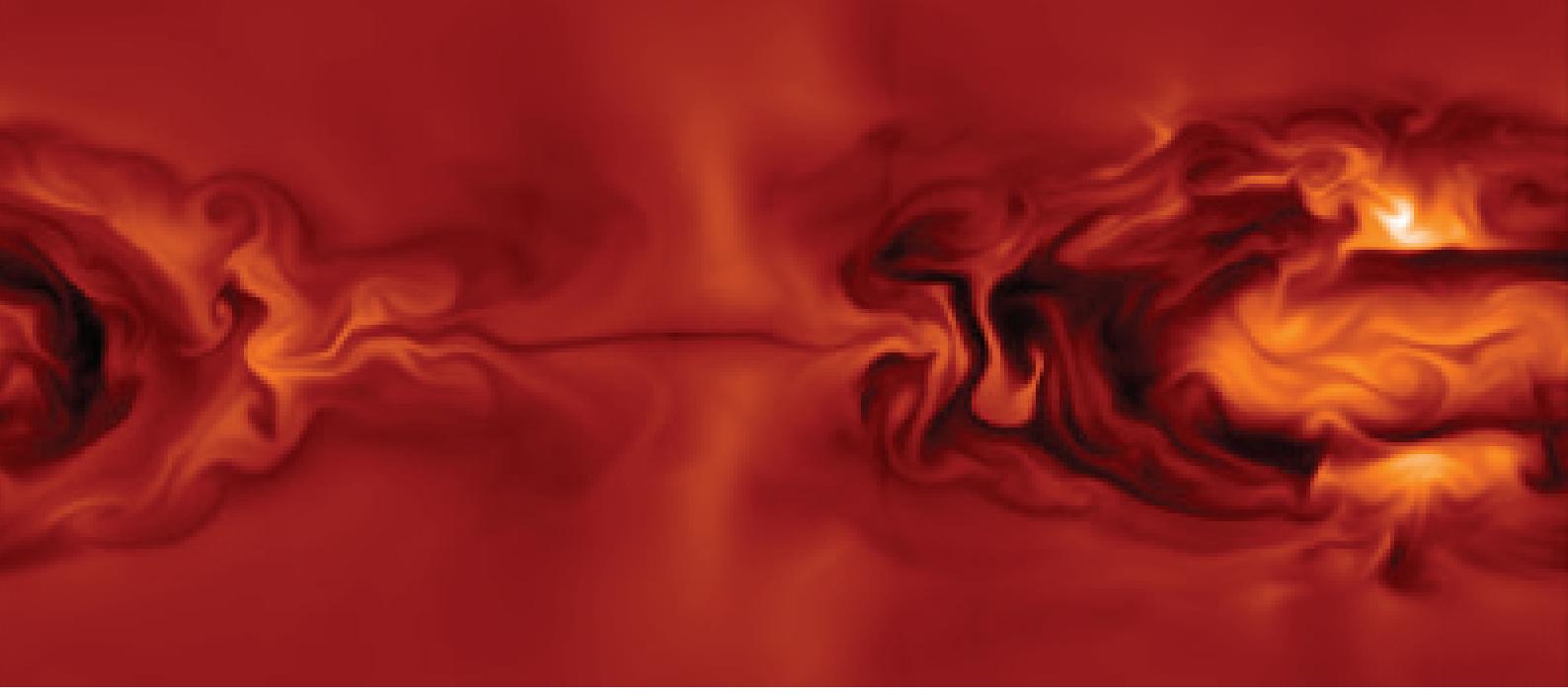


PULSAR

REVISTA DO NÚCLEO DE FÍSICA DO IST | EDIÇÃO 39 | OUTUBRO 2018 | DISTRIBUIÇÃO GRATUITA





Destaque acima: Simulação usando a capacidade de dois-fluídos do USim para plasmas de elevada densidade energética.
Fonte: Tech-X

Imagen de capa: Jatos de plasma alimentados pela energia gravitacional de um buraco negro massivo no centro da galáxia Hércules.
Créditos: NASA, ESA, e Hubble Heritage Team

Apoio Financeiro



Parceiros



Ficha Técnica

Direção:

Ana Henriques, Nuno Santos, António Coelho

Redacção:

Ana Henriques, Ana Rita Soares, António Coelho, Diogo Cruz, Francisco Brito, João Barata, João Sabino, Júlia Silva, Nuno Santos, Pedro Piçarra, Pedro Ribeiro, Rodrigo Câmara, Sebastião Antunes, Sofia Freitas, Steven Silva.

Autores convidados: Prof. Pedro Assis

Revisão linguística:

Nuno Santos, António Coelho

Comissão Científica:

Bruno Gonçalves (Fusão Nuclear), Diana C. Leitão (Nanotecnologias), Filipe Mendes (Energia), João M. Dias (Ótica e Lasers), José P. S. Lemos (Astrofísica e Gravitação), Manuela Mendes (Geofísica), Mário Pimenta (Física de Partículas), Rui Dilão (Biofísica e Sistemas Dinâmicos), Vasco Guerra (Física de Plasmas), Vítor R. Vieira (Física da Matéria Condensada)

Arte

Design e montagem: Ana Henriques e Sara Rodrigues

Produção

Impressão: LST, Artes Gráficas

Tiragem: 1000 exemplares

Contacto

Site: <http://pulsar.nfist.pt>

Facebook: <https://www.facebook.com/pulsarmag>

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 & Os Desafios do Milénio**
- 5 Física e Filosofia**
- 6 DIYPhysics: Faz a tua Pinhole**
- 8 Um armazém de bits**
- 9 IPhO 2018**
- 10 CERN: The AWAKEning**
- 11 Romeu, Julieta e a Matemática**
- 12 Raios Cósmicos de Elevada Energia: De Onde Vêm?**
- 14 Sala de Controlo**
- 15 Fora Deste Mundo**
- 16 Na Senda de Buracos Negros**
- 18 Mais é Diferente: Emergência de propriedades coletivas num isolante de Mott**
- 20 Pequenos Dispositivos, Grandes Contribuições**
- 22 Ciência e Música: A Física da Música ou a Música da Física?**

Editorial

Ano novo, PULSAR nova. Após a ausência de um ano, a PULSAR regressa com novidades. Basta atentar na Ficha Técnica e perceber que há algo de novo: uma comissão científica (CC). À semelhança de outras revistas portuguesas e estrangeiras de cariz científico como, por exemplo, A Gazeta da Física, a revista do NFIST passa agora a ter, além de uma Direção que exerce também o cargo de comissão editorial, uma comissão que assegurará o rigor científico da revista.

Mas como é que isto funciona? Todos os artigos científicos serão enviados para o coordenador da respetiva área científica que terá como função entregar o artigo para revisão a um professor ou investigador anónimos que detenham conhecimento na área em causa. Após a revisão, o autor do artigo deverá proceder às alterações obrigatórias e considerar as sugestões propostas. Isto aplica-se apenas aos artigos de divulgação. De fora ficam, portanto, as crónicas e o DIY que são, obviamente, da responsabilidade dos seus autores. É certo que todo este processo torna a redação da revista mais lenta e complexa. Ganhamos, no entanto, qualidade e excelência.

Não podemos deixar de agradecer ao professor Gonçalo Figueira por todos os conselhos e sugestões no que se refere à forma como deveria funcionar a revista com uma CC. Agradecemos também a todos os coordenadores das respetivas áreas científicas e, claro, aos professores e investigadores que reveem os textos. Esperamos assim tornar a revista mais forte e distinta.

Até à próxima,

Ana Henriques
António Coelho
Nuno Santos

Grand Theft Autopilot

Os computadores estão a fazer coisas cada vez mais impressionantes com recurso a *Machine Learning*. No entanto, há algumas limitações, como a quantidade enorme de dados necessários, que podem custar a obter num cenário real. Como solução, vários grupos de investigação estão agora a usar jogos de vídeo para recolher os seus dados. Em particular, o ubíquo jogo GTA V está a ser usado pelos laboratórios da Intel e pela Universidade de Darmstadt para treinar os seus algoritmos, de forma a permitir que carros de condução autónoma possam circular em segurança numa estrada real.

[MIT Technology Review]



Protetores Galáticos

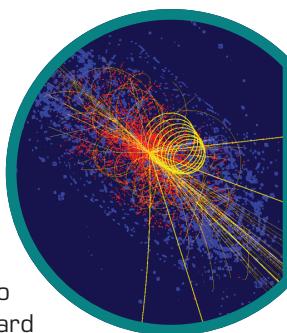
A NASA iniciou recentemente a procura por um(a) *Planetary Protection Officer*. Mas engane-se o leitor que pensa que a posição visa defender a terra de vida alienígena. Pelo contrário, a esta organização pretende defender a vida alienígena da Terra. O desafio não é isolar estas formas de vida da Terra - alias, é disso que andamos à procura. É, sim, impedir que os organismos terrestres contaminem ecossistemas a si estranhos. Assim, os eleitos terão que garantir que os devidos acordos e protocolos são respeitados para que a Terra não interfira com biologia que não lhe pertence. Não terão que batalhar aliens, como nos filmes, mas irão cumprir uma função ainda mais importante.

[NASA]

Modelo Standard Mais Forte

Há pouco mais de um mês, as experiências ATLAS e CMS anunciaram a primeira observação do decaimento do bosão de Higgs num par de quarks bottom, no LHC. Desde a descoberta do bosão pelas mesmas entidades, em 2012, passaram-se seis anos onde apenas se observaram outros tipos de decaimento, como o resultante num par de fotões. A dificuldade em obter a sua evidência experimental passa pelo facto de se poder obter um par de quarks bottom por via de muitos outros processos, segundo colisões protão-protão. Isto provoca um enorme ruído subjacente aos dados empíricos. O avanço apresentado pelas investigações filiadas ao CERN veio corroborar o mecanismo de Brout-Englert-Higgs, segundo o qual o Modelo Standard descreve o modo como os bosões de Gauge adquirem massa.

[CERN]



Os Desafios do Milénio

No fim dos anos 60 foi encontrada uma elevada discrepância entre certas observações experimentais astronómicas e previsões teóricas.

Verificou-se que a maior parte da matéria visível de cada galáxia se encontrava concentrada perto do seu centro. Assim, esperar-se-ia, de acordo com a lei da gravitação universal de Newton, que quanto mais afastada uma estrela estivesse do centro da galáxia, mais lentamente ela se movesse em torno do centro, da mesma forma que o planeta Neptuno se move mais lentamente em torno do Sol que o planeta Mercúrio.

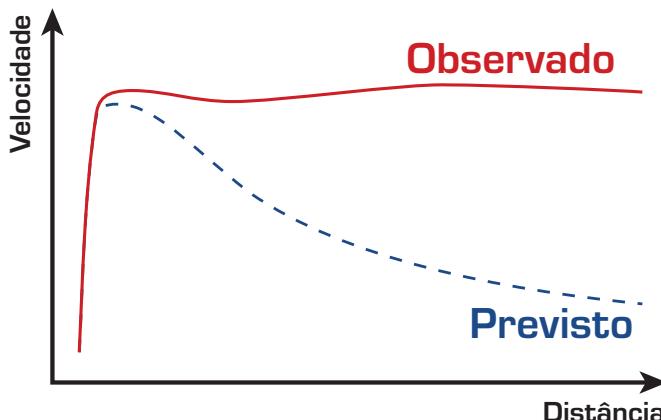
No entanto, esta previsão teórica não é de todo corroborada pelas observações de galáxias, onde se verifica que as estrelas mais afastadas do centro se deslocam muito mais rapidamente do que o esperado, tendo a mesma ou até maior velocidade que as estrelas próximas do centro.

Esta discrepancia sugere que, ou as leis físicas até agora aplicadas a corpos celestes não conseguem descrever o movimento destas estrelas nas suas galáxias, ou que então existe matéria presente nas galáxias que não é visível, e que assim não foi considerada nas previsões teóricas.

Desde que este problema foi originalmente colocado, até hoje, várias opções foram consideradas. Atualmente,

por Diogo Cruz, aluno do 4º ano do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST

crê-se que a existência de grandes quantidades de matéria escura (que não interage com a luz, e assim não é visível da forma tradicional) nas zonas periféricas das galáxias pode explicar a elevada velocidade das estrelas nessas zonas. Contudo, ainda não se confirmou experimentalmente a existência deste tipo de matéria, que explicaria também outras observações astronómicas, como o próprio movimento de certas galáxias e efeitos de lentes gravitacionais. ■



Física e Filosofia

por Sebastião Antunes, aluno do 2º ano do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST

A Filosofia estuda questões para a qual não procura respostas definitivas e abrange as mais diversas áreas do pensamento humano. Assim, não é uma surpresa que a revolução da Física que se deu no último século tenha afetado profundamente esta área.

A mudança de paradigma deveu-se a duas teorias revolucionárias – a Mecânica Quântica e a Relatividade. A última mudou a maneira como nós pensamos no espaço e tempo, sendo estes indissociáveis e mutáveis. Podemos aventar que desceram do plano da abstração para o físico. Em contraste, a Quântica apresenta-nos desafios ainda maiores. No seu âmago encontra-se o princípio de incerteza de Heisenberg, que posto simplesmente nos diz que certas propriedades físicas (como a posição e o momento) não têm valores definidos, simultaneamente. É importante notar que esta incerteza é inerente à natureza e não o resultado de deficiências tecnológicas, de onde derivamos a consequência imediata que uma partícula não se move de acordo com uma trajetória bem definida.

Existem variadas interpretações para as descobertas nesta área sendo a mais aceite a chamada interpretação de Copenhaga, que rejeita a realidade objetiva do mundo quântico e defende que esta advém das medições realizadas. Assim, qualquer partícula não passa de uma codificação de possíveis resultados de observações (uma função de probabilidade que inclui as diversas potencialidades da partícula bem como o nosso conhecimento limitado do sistema) que passa a ter significado inteligível aquando do ato de medição. Tomando o exemplo de um eletrão, se medirmos a sua posição nada mais fazemos do que criar um eletrão com posição, ou seja, a observação em si mudou descontinuamente a função de probabilidade selecionando de entre todas as possibilidades a que realmente aconteceu. Só desta forma é que os nossos cálculos se conectam com a realidade, só uma nova medição nos permite determinar o resultado.

Perguntamo-nos, então, que significado devemos dar às palavras que usamos para nos referirmos às propriedades destas “partículas”, algures entre a possibilidade e o facto? A interpretação de Copenhaga defende que, sendo os factos em que nos baseamos obtidos do mundo macroscópico, devemos tratar o aparelho de medida de forma clássica, ou seja, que a nossa observação não altera o resultado. O facto é que os conceitos da Mecânica Newtoniana são parte integrante da linguagem que usamos como base das ciências naturais. Usamos estes conceitos para descrever experiências e os seus resultados, sendo o problema posto descrevê-los nesta luz. Esta visão não é sem problemas - ter que aceitar à priori a existência do mundo macroscópico clássico é paradoxal já que este é composto por partículas quânticas. No geral, considera-se que os efeitos discutidos se dissipam no mundo macroscópico.

Esta nova perspetiva revoluciona o que pensamos como

método científico. Quando Descartes afirmou “Cogito ergo sum” dividiu o mundo em matéria e mente. Durante os três séculos que se seguiram a ciência procurou descrever o mundo material, não dependendo da subjetividade da “substância pensante”. No entanto, estes desenvolvimentos recentes forçam-nos a concluir que não descrevemos e explicamos apenas a natureza, mas sim a revelamos de acordo com o nosso método de exploração. Voltando ao exemplo do eletrão com posição, este poderia ter sido um eletrão com momento se fosse essa a quantidade a ser medida. Ao observar nós mudamos a realidade à nossa volta, é essa interação que procuramos explicar. Não nos é útil perguntar o que está “realmente” a acontecer quando um eletrão orbita, em torno de um núcleo, os nossos cérebros não estão equipados para lidar com esse tipo de realidade. Devemos, sim, perguntar-nos, o que vai acontecer se eu tentar medir a sua posição?

Uma outra teoria, diametralmente oposta à até aqui discutida, é conhecida como a Interpretação de Muitos Mundos. Em vez do colapso da função de onda – a descontinuidade referida, esta propõe que o que ocorre é uma “ramificação” da realidade, um mundo para cada resultado possível. Desta forma, resolvemos o paradoxo da emergência do mundo clássico a partir de partículas quânticas, mas somos confrontados com novas dificuldades; nomeadamente, o sentido da natureza probabilística das equações.

De facto, e dependendo de quando se admite que ocorre a separação em vários mundos (tanto quanto sabemos pode ocorrer antes ou aquando da observação do resultado da experiência), pode não fazer sentido perguntar qual a probabilidade de um evento, porque este já está determinado. Assim, à luz desta interpretação só nos resta uma “probabilidade de incerteza” ou de falta de conhecimento. É difícil conciliar esta visão com as equações que regem estes fenómenos. Observando deste prisma, somos também forçados a aceitar que o cérebro humano não experiencia uma sobreposição de mundos e a sua divisão porque apenas está equipado para experienciar eventos no seu entendimento clássico. Da nossa posição de “observador-criador” que molda a realidade à sua volta mudando o alfabeto usado para a escrever passamos então à posição de nos ter sido imposto um limite sensorial que nos impede de conectar com a realidade subjacente (tal como não vemos o átomo e percepcionamos a matéria como contínua).

Ambas as visões aqui analisadas são concordantes com as observações experimentais, até à data. Não podemos esperar respostas da física (as previsões funcionam, a interpretação não lhe diz respeito). Estamos face a uma questão intrinsecamente ligada à nossa existência e ao nosso papel no mundo. Ainda há muitas opções por explorar, não menos devido a constricções impostas pela linguagem em que comunicamos atualmente. Cabe-nos a nós levar a discussão mais longe e ver que porta conseguimos abrir. ■

DIYPhysics

Faz a Tua Pinhole

por Sofia Freitas, finalista do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST

A caixa

1 Na parte interior da caixa de fósforos, marca, no centro, um retângulo de dimensões (36 x 24) mm e corta-o. Recorta o retângulo cuidadosamente. O ideal é fazer o corte com um x-ato afiado, de modo a evitar irregularidades (também podes decidir, intencionalmente, fazer um corte irregular - os resultados podem ser inesperados e serão certamente interessantes).

2 Para reduzir reflexões no interior da câmara, pinta a parte interna da caixa de fósforos com uma caneta de feltro preta.

3 Virando agora a atenção para a outra componente da caixa de fósforos, recorta um quadrado de 6 mm no centro da referida caixa. Novamente, cuidado com o recorte - fibras de papel nos cantos, por exemplo, obscurecem as



Passos 1 e 2



Passo 3



Passos 4 e 5

imagens fotografadas.

Pinhole

4 O furo pode ser feito num pedaço de alumínio da lata ou numa película de papel de alumínio - eu usei a segunda opção. A ideia é recortar um pouco de alumínio (da lata ou da película) de dimensão superior ao quadrado do passo 3 - trabalha, por exemplo, com um quadrado de alumínio com 15 mm de lado. Fura o quadrado de alumínio exatamente no seu centro, pintando um dos lados com o marcador preto - novamente, para reduzir reflexões de luz no interior da câmara. Toma atenção ao furar o material! Se trabalhares com a lata, experimenta colocar um pouco de cartão preso por baixo do alumínio de modo a não vincar o alumínio ao fazer pressão com o alfinete/a agulha. Se optares pela película de alumínio, cuidado para não a rasgar; uma opção é trabalhar com várias películas sobrepostas (pinhole mais resistente), mas para tal é necessário garantir que estas estão muito bem coladas umas às outras e que não há "múltiplos" furos.

5 Coloca o pedaço de alumínio sobre o recorte da caixa exterior, com a parte pintada de preto virada para o lado de baixo.

6 Cola a placa com o pinhole à caixa com a fita preta, assegurando que não há entradas de luz por nenhum dos quatro



Passo 6



Passos 7 e 8



Passo 9

lados.

Obturador

7 Vamos construir um obturador bastante artesanal, restando apenas ao cartão e à fita preta. Este obturador vai consistir num pedaço de cartão que, ao deslizar, oculta ou revela o pinhole. Corta dois pedaços de cartão (das embalagens dos rolos, por exemplo): um quadrado (32 x 32) mm e um retângulo (25 x 40) mm.

8 No centro do quadrado, recorta um quadrado com 6 mm de lado. Para evitar perdas de luz, cobre um dos lados do pedaço retangular com fita preta - esse será o lado que fica virado para o interior da câmara.

9 Coloca o pedaço quadrado sobre a placa de pinhole, colando 3 lados do cartão à caixa. O quarto lado, que deve ser deixado em aberto, permite o movimento do cartão-obturador - verifica que este tapa o furo totalmente quando empurrado.

O Avanço do Filme

10 Saber a quantidade de filme a rebobinar não é uma tarefa nada óbvia. Rebobinar demasiado faz com que desperdicemos filme, não rebobinar o suficiente resulta em duplas - ou triplas - exposições. Para facilitar a nossa vida, vamos usar um "contador". Este contador é simplesmente uma argola de plástico que, quando encaixada no rolo, emite um clique de cada vez que salta de furo em furo do filme. Dadas as dimensões da nossa imagem - definida no ponto 1 -, oito cliques é a quantidade certa para rebobinar entre fotografias. Para encaixar a argola corretamente no rolo, coloca a sua ponta no interior de um dos furos do filme, prendendo o plástico ao rolo nessa posição. Para testar o mecanismo, experimenta puxar um pouco o filme - ouves os cliques? Ótimo, podes passar ao próximo passo!

Carregar o rolo

11 A ideia por trás desta parte é transferir o filme do interior de um rolo novo para o interior de outro vazio. Para tal, o rolo vazio deve ter ainda um pouco de filme preso à sua calha interior. A parte da película deixada de fora deve estar cortada de forma retangular, em ambos os rolos.

12 Faz atravessar a película através da caixa exterior. Do rolo carregado, puxa o filme que necessitares para perfazer o comprimento da caixa. A emulsão (parte não brilhante da película) deve estar virada para o pinhole.

13 Cola, com fita cola transparente, as duas extremidades do filme. Tenta garantir que as duas partes estão mesmo



Passo 10



Passo 11



Passos 12 e 13

bem alinhadas antes de as colares, para que o filme deslize de forma suave no interior do rolo.

14 Desliza agora a “bandeja” dos fósforos no interior da caixa, de modo a que a moldura que recortaste no passo 1 esteja contra o filme. Roda o carretel do rolo vazio para rebobinar a folga do filme. Toma atenção que os dois rolos devem estar mesmo nos limites da caixa, sem filme nenhum visível. E pronto, carregaste o teu filme. Agora só falta vedar a câmara à luz.

À prova de luz

15 É importante que a única luz a entrar na câmara seja através do pinhole. Caso contrário, haverá fugas de luz visíveis nos negativos - em casos extremos, poderás queimar completamente a película sem conseguir tirar uma única fotografia. O meu conselho é que uses a fita preta, juntamente com algum cartão ou papel, para vedar bem a luz



Passo 14



Passo 15

da câmara. Os sítios que requerem mais cuidados são no contacto entre os rolos e a caixa.

Agora sim, a construção da tua câmara chegou ao fim! Satisfeito com o resultado? Pois, sei que é uma pergunta um pouco injusta porque só depois de queimar o rolo todo é que podes ver se de facto correu tudo bem... Ora então vou aproveitar a oportunidade para dar algumas dicas acerca da utilização da tua câmara pinhole.

Tal como já te deves ter apercebido, nesta câmara a abertura e o ISO são fixos. Só podes regular o tempo de exposição. Muitos fotógrafos que trabalham com pinholes fazem tabelas auxiliares com os tempos para dadas condições de luminosidade - exteriores sol direto, exteriores sombra, interiores iluminação artificial, etc. Podes seguir o exemplo e construir a tua própria tabela; para tal, podes consultar uma calculadora online de tempo de exposição - recomendo o site <http://www.calculator.org/calculators/exposure.aspx>. Alternativamente, podes instalar uma aplicação de fotômetro no teu telemóvel - myLightMeter, por exemplo - e calcular, caso a caso, o tempo de exposição necessário.

Para estes cálculos vais precisar de saber o f-number do

O que vais precisar



Uma caixa de fósforos (vazia)



Dois rolos fotográficos (um deles vazio, mas ainda com um pouco de rolo preso ao encaixe central)



Fita elétrica PVC preta



Fita cola transparente



Tesoura e/ou x-ato



Marcador preto (caneta de feltro)



Lata ou película de papel alumínio



Agulha ou alfinete



Régua



Argola de encadernamento de plástico

teu aparelho. Este é dado pelo quociente entre a distância focal e o diâmetro do pinhole. A minha câmara tem uma abertura de aproximadamente $f/25$ - caixa de fósforos com altura de 2,5 cm e um furo com cerca de 1 mm de diâmetro.

Sempre que levantares o pedaço de cartão que está a tapar o pinhole, abre o obturador, ou seja, tira uma fotografia. Após cada fotografia, rebobina a película rodando o carretel do rolo que estava inicialmente vazio - pode ser boa ideia ter uma indicação fora da câmara a esclarecer qual dos rolos é e qual o sentido de rotação. Lembra-te de prestar atenção aos cliques para saberes o quanto rebobinar - são oito cliques!

Quando chegar o ponto em que não consegues rebobinar mais, é sinal que chegaste ao fim do rolo e está na altura



Um armazém de bits

por João Sabino, aluno do Doutoramento em Física e Matemática da Informação

Melhorar os processos através dos quais a informação é transmitida é um desafio para as redes de telecomunicações que são usadas todos os dias. Aqui apresenta-se uma nova técnica que permitirá aumentar a eficiência dos canais de informação do futuro.

As redes de quinta geração permitirão a transmissão de um maior número de dados (mais bits por segundo), oferecendo assim um serviço mais rápido e robusto aos utilizadores. De facto, o cada vez maior número de serviços que utilizam a rede móvel (as chamadas de voz e de vídeo e o sms, assim como toda a panóplia de aplicações que precisam de acesso constante à internet (redes sociais ou aplicações como o YouTube, que consomem um grande volume de dados) torna necessário que as redes de comunicações móveis consigam transmitir um maior fluxo de informação. E como fazer isso? Uma das soluções poderá passar por aumentar a eficiência espectral, ou seja, aumentar o número de bits que se consegue transmitir na mesma largura de banda.

O Instituto de Telecomunicações (IT), em particular os pólos de Aveiro e de Lisboa, está a desenvolver um projecto cujo objectivo é implementar uma rede 5G e conseguir atingir taxas de transmissão de dados na ordem das dezenas de Gbits/s. Uma das técnicas exploradas neste projecto usa Comunicações de Luz Visível (Visible Light Communications, ou VLC, em inglês), isto é, comunicações que usam luz no espectro do visível (entre os 400-700 nm) para transmitir informação. As VLC têm algumas vantagens como o facto de poderem ser usadas juntamente com sinais de radiofrequência (não há interferência entre estes dois tipos de luz) e também permitirem implementações mais eficientes em termos de custo e de consumo energético. Uma das técnicas exploradas na VLC tem o nome de Modulação Espacial da Frente-de-onda e tem por objectivo transportar informação na frente de onda de um feixe. Para melhor percebermos como funciona esta técnica, vejamos um exemplo. Imagina que tens um laser e fazes um corte transversal num determinado ponto do trajecto deste laser. Se analisares o campo electromagnético neste plano, observas que o mesmo pode ser descrito pela expressão

$$E(X, y) = E_0 \exp^{i\phi(x,y)}$$

em que E_0 é a amplitude do campo eléctrico e $\phi(x, y)$ é a fase desse mesmo campo. O que isto significa é que a fase deste campo pode ser discretizada numa matriz (vê a Figura 1) e que, se conseguirmos modular a fase em cada um destes “pixéis”, conseguimos gerar diferentes padrões e associar a cada um deles diferentes símbolos (zeros e uns, por exemplo) e, portanto, transmitir informação.

Para efectuar esta modulação de fase espacial, utiliza-se um aparelho chamado Modulador Espacial da Luz (em

inglês, Spatial Light Modulator, ou SLM) que consiste num pequeno ecrã LCD onde é possível controlar o índice de refracção da luz em cada pixel. Como temos este controlo sobre cada pixel, ao definir diferentes índices refracção para diferentes pixéis, vamos alterar a velocidade do feixe em cada secção representada na Figura 1 e, consequentemente, a fase do feixe. Deste modo, quando fazemos um corte transversal no feixe, teremos vários valores de fase consoante as coordenadas (x, y) que observamos e assim conseguimos “imprimir” qualquer padrão na frente de onda do feixe.

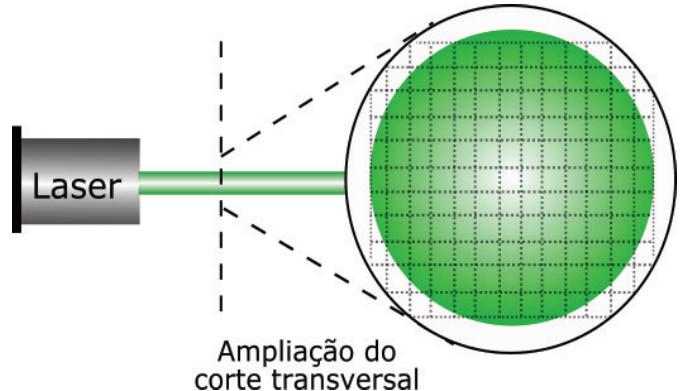


Figura 1: Corte transversal de um feixe laser. Através de um medidor de frente de onda, é possível saber a fase do feixe em cada ponto deste plano.

Se esta técnica funcionasse de forma ideal, qual seria o aumento do fluxo de dados conseguido numa rede de telecomunicações? As contas são simples: o SLM tem uma determinada resolução, no nosso caso 1024x768; temos portanto 786432 pixéis que podemos modular; além disto, a refresh rate¹ do SLM é de 120 Hz, portanto conseguíramos transmitir mais $120 * 786432 = 94.37$ kBaud! O Baud é uma unidade de símbolos por segundo. Os símbolos podem ser simples zeros e uns, representados por ‘0’ e ‘1’, respectivamente, ou podem ser conjuntos destes, por exemplo, ‘a’ ou ‘b’ são símbolos que podem ser interpretados como ‘001’ e ‘010’, respectivamente. Obviamente, este resultado poderia ser melhorado se usarmos equipamentos com melhores especificações. Por outro lado, não podemos assumir que conseguimos detectar cada pixel individualmente, pois os equipamentos

¹ A refresh rate é a taxa a que a imagem é renovada no ecrã.

que usamos nunca são perfeitos e além disso há outras fontes de erro a considerar. No entanto, existe uma solução para ultrapassar este problema, podemos agrupar um número de pixéis específico e criar pixéis maiores, de modo a reduzir os erros de detecção. A figura 2 mostra resultados experimentais onde se minimizou o número de pixéis agrupados. O do fluxo de informação não seria tão elevado como indica o cálculo anterior, mas, ainda assim é possível aumentá-lo significativamente. A grande vantagem desta técnica é o facto de poder ser usada em conjunto com outras já existentes. Assim, é possível incrementar o fluxo de informação transmitida, sem abdicar das mais-valias das técnicas já conhecidas e utilizadas.

O próximo passo será estudar quantos são os níveis de fase que se consegue distinguir. Se não ficarmos limitados

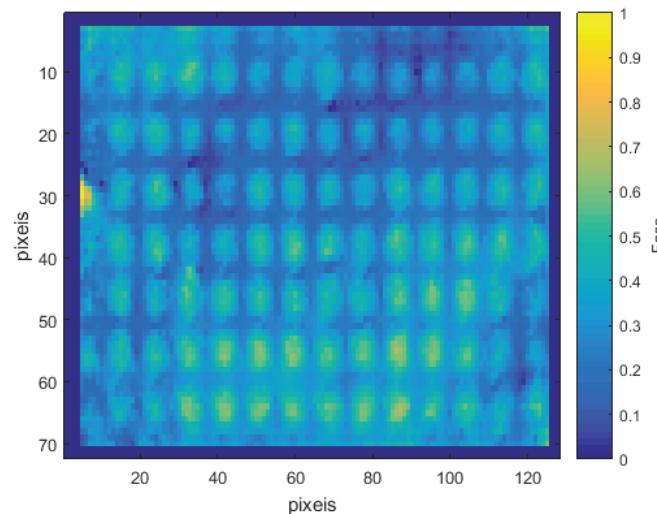
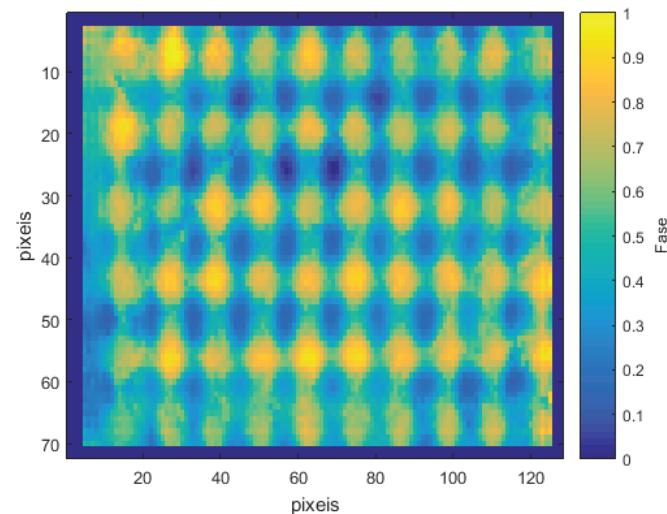


Figura 2: As imagens apresentam divisões da frente de onda com diferente número de pixéis agrupado. Na imagem de cima, observa-se que os conjuntos de pixéis são demasiado pequenos para ficarem bem definidos. Em baixo, usando um maior número de pixéis em cada grupo (cada mancha amarela) é possível ter uma grelha mais bem definida e portanto com menos probabilidade de erros de detecção.

apenas a dois níveis de fase (uns e zeros), mas conseguimos distinguir três ou mais, seria possível expandir o número de padrões que se é possível produzir com os mesmos pixéis e, consequentemente, o número de mensagens possíveis de enviar. Este trabalho foi desenvolvido por mim, pelo Prof. Paulo André do IT, em colaboração com o Prof. Gonçalo Figueira do Grupo de Lasers e Plasmas (GOLP), que providenciou o espaço para se realizar a experiência, bem como alguns dos equipamentos necessários. ■

Referências:

- [1] J. Sabino, G. Figueira, P. André, Wavefront spatial phase modulation in visible optical communications, *Microw Opt Technol Lett.* 59, 1538–1541 (2017).
- [2] S. Zvanovec, P. Chvojka, P. A. Haigh, Z. Ghassemlooy, Visible Light Communications towards 5G, *Radio Engineering* 24(1), 1-9 (2015).



IPhO 2018

por Pedro Picarra, aluno do 2º ano do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST

Portugal recebeu no passado mês de Julho a 49ª edição das olimpíadas internacionais de física (IPhO), 24 anos depois da primeira participação portuguesa na competição. O evento, que este ano contou com a participação de mais de 400 alunos, provenientes de 90 países, e mais de 100 voluntários, decorreu entre os dias 21 a 29 de Julho, em Lisboa. Os participantes, maioritariamente do ensino secundário, foram sujeitos a 5 horas de exame experimental às quais se juntaram 5 horas de exame teórico.

As provas foram elaboradas por uma equipa de professores portugueses das diferentes universidades de norte a sul do país liderada pelo professor Manuel Fiolhais da Universidade de Coimbra. A prova teórica era constituída por 3 grupos de exercícios que abrangiam temas tão diversos como a deteção de ondas gravitacionais no LIGO, a experiência ATLAS no CERN e sistemas biológicos - nomeadamente circulação sanguínea e crescimento de

tumores. A prova experimental implicava o estudo e análise de transístores de papel e viscoelasticidade de polímeros.

Recorda-se o leitor que os transístores de papel foram desenvolvidos por uma equipa de Elvira Fortunato da Universidade Nova de Lisboa e que, no início do ano, recebeu um prémio de 3.5 milhões de euros para continuar a investigação na área.

O evento contou ainda com duas palestras, a primeira, “Physics of Sports”, dada pelo professor António Veloso com a participação do atleta olímpico Nuno Delgado, procurou explorar os aspectos biomecânicos no desporto de alta competição. A segunda palestra, dada pelo antigo astronauta da NASA Don Thomas, teve como objetivo explicar o seu dia-a-dia no espaço.

Os estudantes portugueses receberam uma medalha de bronze (Gustavo Alves) e quatro menções honrosas (Diogo Rodrigues, David Nassauer, Rafael Almeida e Tomás Feith). ■

CERN: The AWAKEning

por Júlia Silva, aluna do 4º ano do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST

OCERN redefiniu os limites da ciência, conseguindo no *Large Hadron Collider* colidir protões com uma energia de centro de massa cada vez maior, sendo que os últimos resultados foram obtidos a 13 TeV. A cada resposta que obtemos relativa à estrutura fundamental do universo, novas perguntas se levantam, e a pressão para alcançar energias cada vez maiores de uma forma rentável aumenta. Técnicas convencionais de aceleração recorrem a campos eléctricos - quanto maiores, maior a aceleração. No entanto, estes aceleradores são limitados pelo seu material, que só consegue suportar campos de intensidade inferior a um dado valor máximo, chamado ponto de ruptura dieléctrica. Isto limita a aceleração alcançada por área de material e implica que para alcançar grandes energias precisamos de vários quilómetros de acelerador, o que envolve custos muito elevados.

Uma nova forma de aceleração de partículas tem ganho terreno nas últimas décadas. Em 1979, Tajima e Dawson teorizaram que seria possível aproveitar as propriedades dos plasmas para criar grandes gradientes eléctricos e acelerar partículas de forma eficiente, usando impulsos de laser intensos [1]. Um plasma consegue suportar campos eléctricos extremamente fortes, conseguindo-se com eles contornar a limitação dos aceleradores convencionais. Em circunstâncias normais, é macroscopicamente neutro, sendo constituído por electrões e iões distribuídos de uma forma uniforme. Tajima e Dawson propuseram quebrar este equilíbrio utilizando um laser, que atravessa o plasma, desviando electrões. Desta forma, regiões de iões positivos (que são massivos e, portanto, considerados estacionários, na escala de tempo das excitações do plasma) vão-se formando. Os electrões vão ser seguidamente atraídos por estas regiões. Cria-se assim, na esteira do laser, uma sucessão periódica de zonas carregadas, a que está associada um campo eléctrico muito intenso - uma onda plasma-elettrônica - que pode ser usado para acelerar electrões que sejam injectados nesta estrutura.

Outra forma de alcançar o efeito explicado passa por utilizar um feixe de partículas relativista em vez do laser. A experiência AWAKE (*Advanced Wakefield Experiment*) [2], no CERN, é uma prova de conceito que pretende demonstrar a possibilidade de acelerar um feixe de electrões, numa única secção de plasma, utilizando feixes de protões (conceito proposto em 2009, por Caldwell, et all [3]). O aparato experimental inclui uma célula de plasma de 10 m, onde são criadas ondas plasma-elettrónicas pela passagem de um feixe de protões de 400 GeV/c, extraído do *Super Proton Synchrotron* (SPS). As ondas de plasma só podem ser criadas eficientemente se o tamanho do feixe for da ordem de grandeza do comprimento de onda do plasma (cerca de 1mm para as densidades usadas). No entanto, o comprimento dos feixes extraídos do SPS é de 12 cm, o que à

partida indicaria a impossibilidade de os usar com sucesso. Um efeito crucial entra então em jogo, eliminando este entrave - a instabilidade de auto-modulação. O que acontece na passagem do feixe na coluna de plasma é que, quando se forma o campo eléctrico nos primeiros metros do feixe, esse campo interage com o restante feixe e acaba por formar feixes mais pequenos, separados aproximadamente pelo comprimento de onda do plasma. Estes feixes podem, então, excitar ondas de plasma de grandes amplitudes.

De momento, a criação de ondas plasma-electrónicas já foi testada no AWAKE, estando-se na fase de demonstrar que a aceleração do feixe de electrões é possível. Um espetrómetro permitirá quantificar o ganho de energia. Este é composto por um dipolo magnético que curva os electrões e por um ecrã de cintilação para os quais estes são dispersos em energia [4]. Se tudo correr como programado, um feixe de 15 MeV será acelerado para lá de 1 GeV. O IST encontra-se envolvido no processo de desenvolvimento da experiência, contribuindo com simulações (Jorge Viera, Mariana Trocado e Ligia Amorim), e num projecto para uma nova célula de plasma (Nelson Lopes).

Os resultados obtidos são promissores* e parece que a aceleração de partículas com plasmas é a chave para alcançar maiores energias, com menor área de acelerador, a menores custos. Será que daqui a uns anos o LHC como o conhecemos estará obsoleto? ■

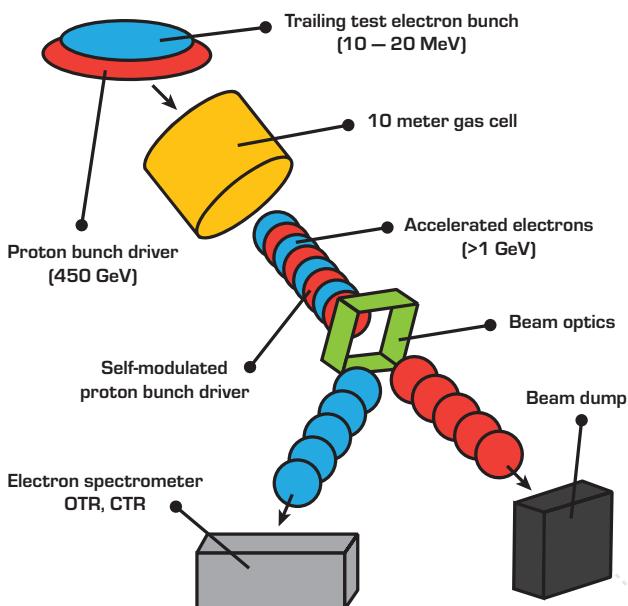


Figura 1: Esquema simplificado do Layout da experiência AWAKE

Referências:

- [1] T. Tajima and J. Dawson, Phys. Rev. Lett. 43, 267 (1979)
- [2] <http://awake.web.cern.ch/awake/>
- [3] A. Caldwell et al., Nature Physics 5, 363 (2009)
- [4] E. Gschwendtner, "Starting up the AWAKE experiment at CERN", Proceedings of IPAC2017, Copenhagen, Denmark, 2017

Romeu, Julieta e a Matemática

por João Barata*, alumnus do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST

Em física usamos a matemática como uma linguagem para descrever o mundo que nos rodeia: é desta forma que conseguimos sistematizar e entender os fenômenos que “vemos” no mundo, desde um pião a rodar no chão até às propriedades das partículas elementares.

Contudo, podemos utilizar a matemática como uma ferramenta para entender melhor como funciona a sociedade e as relações interpessoais. Dentro destas aplicações existem vários exemplos de modelos para descrever a propagação de doenças dentro de uma comunidade, a comunicação de informação dentro de um grupo, a competição entre vários grupos, etc. Neste artigo procuramos abordar um sistema de equações diferenciais que descreve a relação amorosa de um casal.

Antes de começar, é preciso notar a ambição deste modelo uma vez que se propõe a descrever um sistema que pode ser altamente não determinista. O modelo linear que apresentamos foi proposto como um exercício por Strogatz aos seus alunos [1] e procura descrever a relação amorosa entre dois amantes; ficou, por isso, conhecido na literatura como “Romeo-Juliet model”. Em geral este modelo é descrito pelo sistema de equações diferenciais

$$\frac{dR}{dt} = aR + bJ, \quad \frac{dJ}{dt} = cR + dJ$$

onde as constantes reais a, b, c e d descrevem o modelo, t é o tempo, R corresponde à atração que Romeu sente por Julieta e J a atração que Julieta sente por Romeu (onde atrações positivas correspondem a relações em que os parceiros se desejam).

Este modelo é muito simples: a variação no tempo da atração de cada um dos amantes pelo outro é uma função da atração que cada um sente em cada instante. Em particular, a dependência da atração no tempo é linear (i.e. não vamos considerar termos da forma RJ , RRJ , $RRJJ$, etc, pelo que podemos ver este modelo como uma primeira aproximação à descrição do sistema; termos de ordem superior correspondem a modelos mais refinados). As quatro constantes do sistema têm uma correspondência com a nossa experiência diária: a é a auto-confiança de Romeu e d a de Julieta; b é a confiança amorosa dada por Julieta a Romeu e c por Romeu a Julieta.

Sprott [2] define quatro estilos românticos para o sistema (seguindo as definições de Strogatz, embora estas sejam arbitrárias e cada um possa inventar novas classificações): o amante confiante ($a>0, b>0$), onde o amor de Romeu por Julieta é encorajado pela confiança própria e pela atenção de Julieta; o amante narcisista ($a>0, b<0$), que se auto-encoraja mas se afasta de Julieta à medida que ela se sente mais atraída; o amante cauteloso ($a<0, b>0$) que tenta afastar-se daquilo que sente mas é encorajado pelos sentimentos do parceiro; e o amante “fugido” ($a<0, b<0$), que se tenta afastar dos seus sentimentos e dos de Julieta.

O artigo de Sprott elabora ainda uma análise simples sobre os parâmetros do sistema e o tipo de soluções que se pode obter (recomenda-se a leitura, é bastante claro e divertido!). Na figura apresentamos algumas soluções numéricas (embora se possa chegar ao comportamento qualitativo de forma analítica) que mostram que a variação dos parâmetros leva à descrição de casais totalmente diferentes. Que tipo de amante és tu?

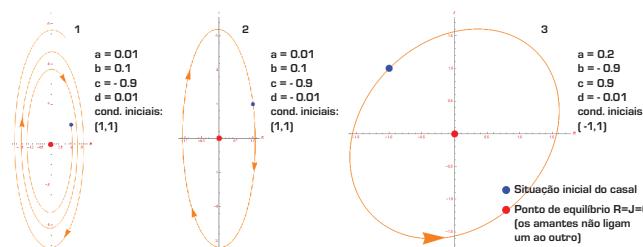


Figura 1: O casal 1 atravessa ciclos de repulsão/atração mútua ou sentimentos mistos, mas o sistema evolui de tal forma que $|J|$ e $|R|$ são crescentes, pelo que não poderia ser um modelo realista (a atração tem de ser majorada de alguma forma). No casal 2 temos um caso estável, semelhante ao anterior, mas em que a força da atração é estabilizada (escolhendo os parâmetros adequados). O caso 3 é uma situação periódica em que Romeu e Julieta são opostos (i.e. $a=-d$ e $c=-b$), indicando que um casal formado por personalidades distintas é tão estável quanto um casal de pessoas semelhantes.

Uma extensão ao modelo é considerar termos não lineares de forma a captar melhor as dinâmicas de uma relação amorosa. Contudo, a introdução de novas dependências torna a análise bastante mais complicada. Como resolver?

Em geral, não parece haver uma boa solução. Ainda assim, podemos experimentar outras abordagens como considerar um sistema não linear que tenha propriedades interessantes e construir uma equivalência entre os dois sistemas. Por exemplo, é possível mostrar que existem correções não lineares que tornam o sistema anterior equivalente ao sistema de Lokta-Volterra (modelo que descreve duas espécies em competição). Isto é útil porque Lokta-Volterra, em certas condições, admite uma estrutura Hamiltoniana e podemos utilizar ainda outros resultados para calcular valores médios das atrações entre amantes.

Em conclusão, este modelo é muito interessante, pois permite uma primeira abordagem qualitativa a sistemas de equações diferenciais, e oferece a possibilidade de fazer extensões para aprimorar o modelo utilizando matemática bastante acessível. ■

Referências:

- [1] Strogatz, S. H., “Love Affairs and Differential equations”, Mathematics Magazine, Vol. 61, no , Fev. 1988, pg 35
- [2] Sprott, J. C., “Dynamical Models of Love”, Nonlinear Dynamics, Psychology, and Life, Vol. 8, no 3, Julho 2004

Raios Cósmicos de Elevada Energia: De Onde vêm?

por Steven Silva, finalista do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST

Actualmente ainda se desconhece qual o mecanismo de produção e a origem dos raios cósmicos de alta energia. Será que estas partículas são originárias de dentro da nossa própria galáxia ou de algum mecanismo extragaláctico? Um resultado recentemente obtido pela Colaboração Pierre Auger, publicado na revista científica *Science*, poderá ajudar a responder a essa pergunta.

É de conhecimento geral que o nosso planeta é constantemente bombardeado por objectos vindos do espaço, como os meteoritos. Contudo, há mais de 50 anos que se conhece um outro tipo de “visitante espacial”: partículas da escala do átomo extremamente energéticas. Estas partículas, denominadas de raios cósmicos, têm energias que cobrem muitas ordens de magnitude, desde 10^8 até 10^{20} electrões-Volt[1].

Os aceleradores de partículas atuais apenas conseguem atingir energias da ordem de 10^{13} eV, e, como tal, a única maneira de estudar partículas mais energéticas é através de raios cósmicos. Assim, a medição e detecção dos raios cósmicos constituem uma parte crucial no estudo de interacções a ultra-alta energia. Para energias superiores a 10^{18} eV, estes são frequentemente denominados de Ultra-High Energy Cosmic Rays, ou UHECRs.

Mas primeiro é importante perguntar: como é possível “apanhar” estas partículas espaciais tão minúsculas? Visto que a ocorrência de raios cósmicos desce drasticamente com o aumento da sua energia, os UHECRs são difíceis de detectar. De facto, nesta escala de energia espera-se aproximadamente 1 partícula por km^2 por ano! Felizmente, existem efeitos da sua interacção com a atmosfera terrestre que podemos explorar. Quando um UHECR colide com um átomo do ar, dá origem a um fenómeno designado “chuveiro atmosférico”, que consiste num processo multiplicativo de produção de partículas. Subsequentemente, os efeitos desta interacção podem ser medidos e usados para deduzir características da partícula primária que causou o chuveiro.

Com o intuito de estudar UHECRs através dos chuveiros atmosféricos, foi lançado um projecto na Argentina chamado Observatório Pierre Auger. Aqui, os chuveiros são medidos através de duas formas distintas: a detecção de superfície e a detecção de fluorescência. A detecção de superfície é feita através de 1660 tanques de água (tanques de Cherenkov) uniformemente espaçados entre si, contidos numa área de cerca de 3000 km^2 , que detectam as partículas formadas no chuveiro atmosférico que chegam ao solo. A detecção de fluorescência é feita através de telescópios ópticos que medem a luz de fluorescência produzida por electrões de baixa energia ao longo do perfil longitudinal do chuveiro, sendo possível estimar daí o número de partículas. O mapa do observatório é apresentado na Figura 1. Destas duas medições é feita a reconstrução do chuveiro até à primeira interacção, donde se tiram conclusões acerca do UHECR.

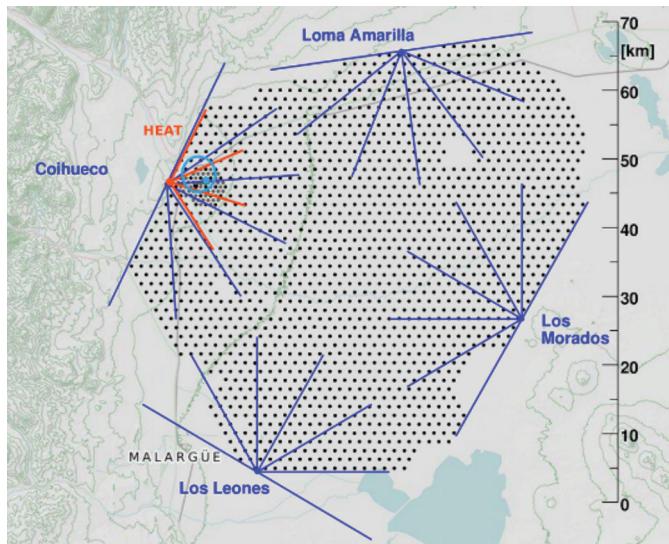


Figura 1: Mapa do Observatório Pierre Auger. Os pontos pretos representam os 1660 tanques de Cherenkov dispersos pela área, e a azul estão representados os quatro detectores de fluorescência, cada um com seis telescópios que abrangem um ângulo de 30° cada.

Estes estudos permitem extrair informações muito importantes sobre o tipo de interacções que ocorrem à escala de energia dos UHECRs. Por exemplo, a altitude da primeira interacção diz-nos algo sobre as características da partícula primária (como a sua secção eficaz e composição), e o número de partículas que chegam à superfície terrestre está relacionado com a sua energia. Adicionalmente, graças à sua geometria e distribuição dos tempos de chegada no solo, os tanques de Cherenkov permitem estimar a direcção da chegada dos raios cósmicos.

Com tudo isto, é só uma questão de esperar que os UHECRs venham ter a nós e depois reunir toda a informação coleccionada. Foi precisamente este método que culminou no artigo publicado na revista *Science*, titulado “*Observation of a large-scale anisotropy in the arrival directions of cosmic rays above 8×10^{18} eV.*” Os resultados apresentados referem-se aos eventos detectados no Observatório Pierre Auger desde o dia 1 de Janeiro de 2004 até 31 de Agosto de 2016 – mais de 12 anos de exposição! Quando as direcções dos UHECRs daqui calculadas são distribuídas ao longo do mapa celeste, torna-se claro que os raios cósmicos têm uma região “preferida” no céu. A distribuição destas direcções está apresentada na Figura 2 em termos de coordenadas equatoriais.

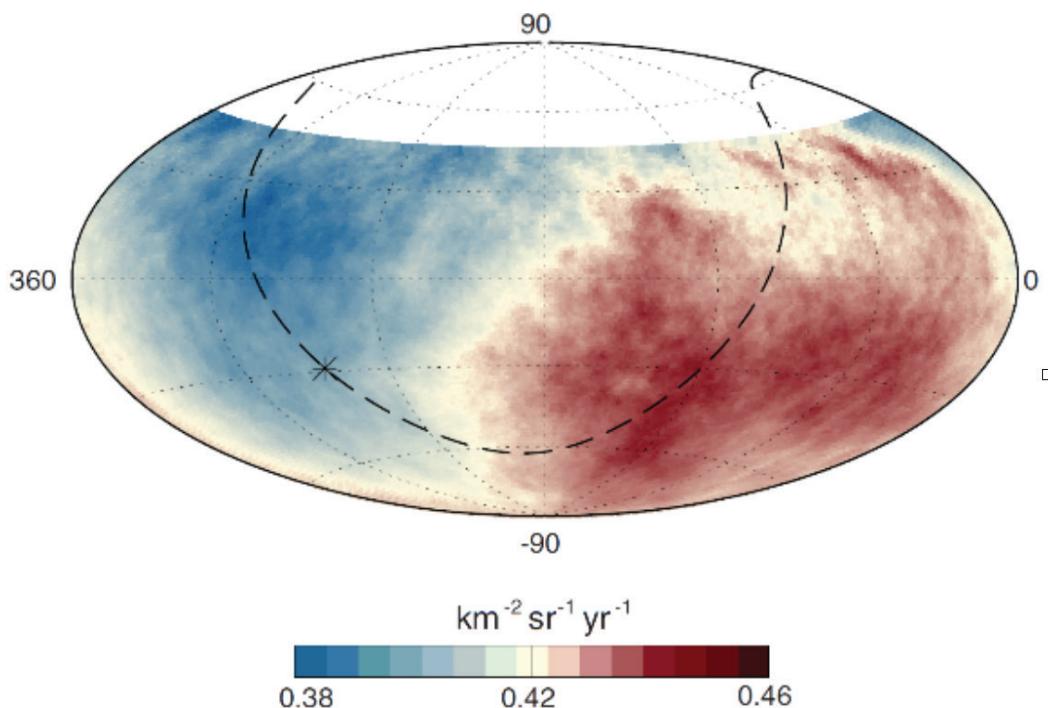


Figura 2: Mapa celeste em coordenadas equatoriais, mostrando áreas de pouca intensidade (azul) e áreas de muita intensidade (vermelho) de UHECRs. O asterisco representa o centro da galáxia, e a linha a tracejado é o plano galáctico.

Quando os dados são dispuestos num mapa celeste em coordenadas galácticas, observa-se que a direcção de chegada dos UHECRs não é de todo uniforme. De facto, se estas partículas de energias extraordinárias fossem produzidas dentro da Via Láctea, esperar-se-ia mais aglomeracões de UHECRs no plano da galáxia [ao longo da linha a tracejado na Figura 2]. Em contraste, os raios cósmicos menos energéticos e mais sensíveis ao efeito do campo magnético galáctico não demonstram nenhuma preferência de direcção de chegada quando analisados da mesma maneira. Assim, para raios cósmicos com energias superiores a 10^{18} eV observa-se uma direcção privilegiada, fora do plano da galáxia, que suporta a hipótese de terem uma origem extragaláctica.

Os raios cósmicos são constituídos primariamente por protões (92%) e partículas alfa (7%). Os restantes 1% dizem respeito a núcleos mais pesados. Ultrapassada a sua jornada até à Terra, estas partículas começam a interagir com a atmosfera, dado o seu pequeno livre percurso médio, colidindo com os átomos aí presentes. Como consequência originam-se os ditos chuveiros atmosféricos constituídos por piões, que por sua vez decaem em fotões, muões e neutrinos. Os fotões, por sua vez, decaem em eletrões e positrões.

Mas não é só na Argentina que se detetam partículas provenientes dos chuveiros! Também no telhado do Edifício do Departamento de Física do IST existem detectores de cintilação à espera que cheguem partículas. Os responsáveis pela experiência são o professor Fernando Barão e o aluno de doutoramento Miguel Orcinha que, durante o 2º semestre, contam com a ajuda dos alunos da cadeira de LFEA.

A detecção de UHECRs depende do conhecimento das cascatas atmosféricas. O grupo português de Auger, sediado no Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas (LIP), contribui activamente nesse esforço, procurando perceber mais sobre as interacções hadrónicas subjacentes às cascatas, e consequentemente a natureza dos UHECRs. Esta última é essencial para perceber propriedades das fontes astrofísicas destes raios cósmicos. Para além disso, o grupo lidera o projecto de investigação e desenvolvimento em detectores que visam aceder com mais detalhe às cascatas atmosféricas. ■

Referências:

- [1] The Pierre Auger Collaboration, Science **357**, 1266–1270 (2017).

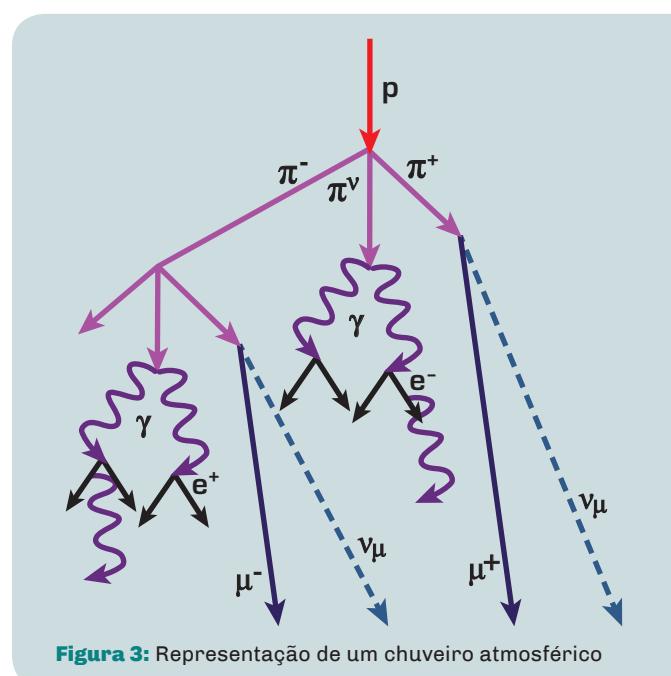


Figura 3: Representação de um chuveiro atmosférico

Sala de Controlo

por Pedro Assis, professor do departamento de Física do IST

Asala de controlo é um centro de actividade do LIP no Técnico. Daqui se pode fazer o controlo da experiência Auger e o controlo de qualidade de dados da experiência CMS. Além disso, será um centro multimédia para divulgação de informação e actividades das experiências em que o LIP está envolvido - um ponto de encontro da área de física experimental de partículas onde qualquer pessoa que queira saber mais sobre partículas se pode dirigir.

A colaboração Pierre Auger tem o seu detector instalado na recôndita pampa Argentina a 2 dias de viagem de Lisboa. Chegar lá passa por, tipicamente, 3 aviões, um autocarro e alguns táxis. Chegados podemos finalmente operar o detector de fluorescência durante as noites límpidas para detectar os efeitos das partículas mais energéticas que se conhecem. Esta localização remota permite estar longe da civilização: bom para a detecção, um aspecto a melhorar para a vida social. Nos últimos tempos, com a melhoria da conectividade e da tecnologia, Auger permite que o detector seja operado remotamente a partir de salas especialmente instaladas para o efeito. Este ano já realizámos duas sessões de "shift"! E claro, as sessões estão abertas a perguntas. Se queres saber como se opera o maior detector do mundo, passa, entra e faz as tuas perguntas. A actividade da sala será anunciada nos seus múltiplos ecrãs.

Chegar a Genebra, lar do LHC e de CMS é bastante mais simples. Pela complexidade dos sistemas não é ainda possível a operação remota. Mas é preciso um constante monitoramento dos dados recolhidos e do funcionamento

dos diversos detectores de CMS e essa parte já está a ser feita na sala. Aqui acompanham-se diversos parâmetros de controlo e os estudantes podem estar envolvidos nesta actividade. Queres aprender como se vê se tudo vai bem com CMS? Aparece na sala e pergunta o que se passa. E se a curiosidade ainda não estiver satisfeita podes combinar uma espreitadela no controlo da experiência. Sim, não se pode mexer mas pode-se espiar!

É impossível entrar no departamento de Física e não reparar nos monitores da sala cheios de informação multimédia. É a vertente de divulgação da Física de Partículas e das actividades do LIP e das diversas experiências em que participa. Nos monitores grandes podem-se ver alguns conteúdos que explicam diversos aspectos das partículas e da sua detecção. O LHC em real-time permite ter a noção imediata do que se passa, de como vai o run, se todos os sistemas estão bem. E se houver algum problema sabe-se imediatamente! Só as partículas novas que se descobrem não aparecem logo aqui. Mas aparecerá num monitor à frente nas notícias do LIP. Segue-se a vida do LIP com as teses, seminários e eventos no dia-a-dia mas também se anunciam oportunidades únicas. E queremos uma sala dinâmica. As sugestões para upgrade são sempre bem-vindas. Sobretudo de quem está disposto a "meter a mão na massa" e programar, produzir, adaptar conteúdos para os monitores da sala.

E é um ponto de encontro para a Física experimental de partículas! Tens uma dúvida? Queres saber mais? Entra e pergunta sempre que quiseres! Ficamos à espera. ■



Figura 1: Sala de Controlo, na entrada do departamento de Física do Instituto Superior Técnico

Fora Deste Mundo

por Ana Henriques, aluna do 3º ano do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST

Fechem os olhos. Imaginem um extraterrestre. Como é que o descreveriam? Se calhar pensaram nos facehuggers do Alien, ou nos Na'vi do Avatar. Não há nenhuma resposta certa mas a verdade é que a nossa ideia de "extraterrestre" tem sido altamente influenciada pela cultura popular que consumimos. E.T., Men In Black, Independence Day... Estes são apenas alguns exemplos da tendência geral que os grandes estúdios seguem na sua representação de seres de outros planetas - um retrato físico bizarro e um carácter hostil que visa a ocupação violenta, em detrimento do diálogo.

Não sabemos com certeza que aspeto físico terá a vida alienígena mas, de acordo com um estudo conduzido pela University of Oxford [1] e publicado no International Journal of Astrobiology, sabemos que será sujeita às mesmas pressões evolutivas que existem aqui na Terra. Deste modo, os investigadores sugerem que os extraterrestres também irão sofrer seleção natural, dado que este é o único método de adaptação a um dado ambiente, e é este processo adaptativo que define a vida.

Tal como o nosso sistema humano, resultado de milhões de anos de evolução, outras formas de vida serão compostas analogamente - têm início em várias partes com funções distintas que, com o passar do tempo, se aglomeram para criar um todo, com maior complexidade. Como exemplo, tome-se os nossos vários sistemas de órgãos (que, por

sua vez, evoluíram de células individuais), todos com a sua função particular para o funcionamento do organismo.

Posto isto, qual especificamente será o aspeto dos alienígenas não é fácil de antever. Numa tentativa de satisfaçao dessa curiosidade, podemos recorrer ao fenómeno de evolução convergente, em que, sumariamente, circunstâncias ambientais similares levam às mesmas adaptações evolutivas (figura 1). Assim, se assumirmos como fatores chave para a biodiversidade a presença de oceanos líquidos, uma atmosfera densa e a ocasional massa terrestre, podemos tirar alguns pressupostos. Nomeadamente, é razoável assumir, à nossa semelhança, que os predadores aquáticos terão formas hidrodinâmicas ou que os organismos terrestres terão, provavelmente, pernas ou membros análogos. Contudo, não podemos prever que os nossos vizinhos se apresentem como bípedes antropomórficos. Isso é um dado a que ainda não temos acesso e dependerá muito de coincidências como a constituição química do seu ambiente nativo.

Mas será que devemos ter medo de uma possível invasão, à la Guerra dos Mundos? As evidências sugerem que o dramatismo de Hollywood não passa disso mesmo, felizmente, e que civilizações mais evoluídas tendem a ser mais pacíficas. Para além disto, uma vez que estamos todos sujeitos às mesmas pressões evolutivas, os nossos cérebros não iam ser tão diferentes assim que tornariam um entendimento impossível. Pelo contrário, é verosímil que os extraterrestres tenham a mesma apreciação por ciência que têm os humanos e até, talvez, por beleza. Alias, é concebível que o nosso sentido estético nem seja muito divergente, dado que somos parciais a padrões da natureza. Note-se como exemplo o nosso pendor pela simetria e cores fortes das flores, que evoluíram no sentido de atrair insetos para a polinização. No entanto, agrada-nos também a nós e o nosso cérebro é bastante diferente do de um inseto.

Há, apesar disso, limites. Existirão certamente diferenças biológicas e culturais significativas no que toca à apreciação de arte. Pessoalmente, tenho algumas dúvidas que os nossos amigos alienígenas irão abanar o capacete ao som de Cardi B ou que irão apreciar a obra de Jackson Pollock. Mas, na verdade, quem sabe. Talvez sejam grandes fãs.

Em conclusão, ainda há muito que não sabemos e a única maneira de descobrir é realmente encontrar e documentar outras formas de vida. Talvez sejam mais heptapod que grey (e, julgando pela diversidade de criaturas que habitam o nosso próprio planeta, se calhar ainda serão fisicamente mais exóticos do que pensamos) mas teremos tido, mesmo assim, a mesma história evolutiva e, quem sabe, gostos semelhantes e, na minha opinião, há poesia nisso. ■

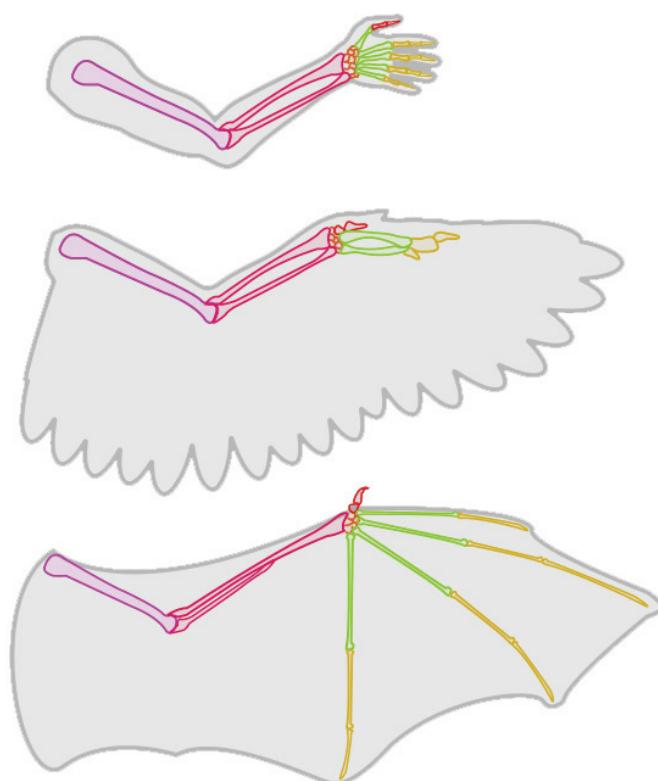


Figura 1: Evolução convergente do mecanismo de voo

Referências:

- [1] Levin SR, Scott TW, Cooper HS, West SA. (2017). Darwin's aliens. Int. J. Astrobiol. 0, 1–9.

Na Senda de Buracos Negros

por Nuno Santos, aluno do 5º ano do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST

Previstos por Oppenheimer e Snyder há quase oitenta anos, os buracos negros são ainda hoje um mistério. Com o amanhecer da astronomia de ondas gravitacionais, estaremos mais próximos de uma evidência inequívoca da sua existência?

As As equações de Einstein – que encerram os princípios de uma das interacções fundamentais da Natureza, a interacção gravitacional – estabelecem a curvatura do espaço-tempo como resultado da massa, ou, equivalentemente, da energia, nele contida. Algumas das suas soluções descrevem o colapso gravitacional de estrelas. Quando as reacções termonucleares que têm lugar no interior destes astros cessam, eles contraem-se sob ação do seu próprio campo gravitacional. Em 1939, J. R. Oppenheimer e H. Snyder concluíram que o colapso de estrelas com massas suficientemente superiores à do Sol ($M_{\odot} \sim 10^{36}$ kg) pode não conduzir a estados de equilíbrio, como sejam as anãs brancas e as estrelas de neutrões (Fig. 1). Os físicos norte-americanos mostraram que aquelas estrelas podem contrair-se indefinidamente e, por isso, curvar localmente o espaço-tempo de tal forma que nada lhes pode escapar – nem mesmo a luz. Anos mais tarde, J. A. Wheeler, incontornável físico norte-americano do século XX, introduziu o termo buraco negro [1] para melhor descrever a natureza destes objectos (ver a história da génesis do termo em [2]).

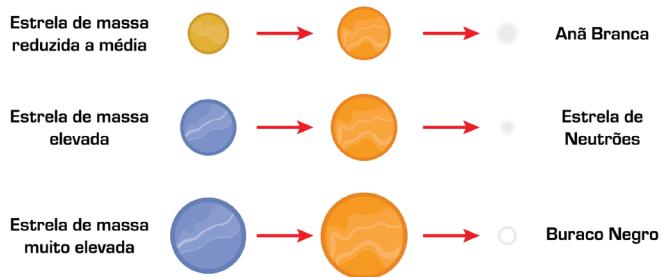


Figura 1: O produto final do colapso gravitacional de uma estrela é determinado, grosso modo, pela sua massa inicial, M . Assim, se $M \lesssim 1.4M_{\odot}$ (limite de Chandrasekhar), forma-se uma anã branca; caso $1.4M_{\odot} \lesssim M \lesssim 3M_{\odot}$ (limite de Tolman–Oppenheimer–Volkoff), o produto final é uma estrela de neutrões; se $M \gtrsim 3M_{\odot}$, a estrela contrai-se indefinidamente, criando um buraco negro.

A matéria estelar que constitui um buraco negro está concentrada no interior de uma superfície fechada, designada como horizonte de eventos. Assim que um objecto em queda para um buraco negro ultrapassa aquela superfície, não há forma de o recuperar nem com ele comunicar. De acordo com o paradigma vigente em física de buracos negros, a informação relativa ao objecto é perdida, à exceção da sua massa, carga e momento angular.

O horizonte de eventos é o que melhor define a natureza de um buraco negro. Nesse sentido, observar o horizonte de eventos de um buraco negro afigurar-se-ia como a prova cabal da sua existência. Porém, do ponto de vista teórico, a determinação da sua localização é apenas possível se se conhecer integralmente a evolução temporal do espaço-

tempo, i.e., a sua configuração em todos os instantes de tempo futuros. O carácter global do horizonte de eventos, conhecido como propriedade teleológica, inviabiliza qualquer tentativa de detecção directa de um buraco negro. Por outras palavras, todos os corpos celestes identificados por astrónomos e astrofísicos como buracos negros são, na verdade, candidatos a buracos negros. Não obstante, há hoje evidências observacionais da sua existência.

Em sistemas binários, i.e., constituídos por dois corpos compactos ligados por via da sua interacção gravitacional, é comum a formação de discos de acreção em torno do objecto de maior massa. A matéria destas estruturas disciformes emite radiação em diferentes gamas do espectro electromagnético. Detectar radiação proveniente da vizinhança destes objectos é, pois, uma forma de melhor conhecer a sua natureza. Todavia, a sua análise é invariavelmente complexa, dada a forte interacção entre radiação e matéria e a dinâmica característica dos processos electromagnéticos.

Da interacção gravitacional entre os corpos de um sistema binário resulta também a emissão de ondas gravitacionais, responsável pela perda de momento angular e, logo, pela aproximação gradual dos objectos (*inspiral phase*), que acabam por se fundir (*merger phase*). No caso de um sistema binário composto por dois buracos negros, a sua coalescência origina um novo buraco negro, que liberta energia sob a forma de ondas gravitacionais até atingir um estado de equilíbrio estacionário (*ringdown phase*). Esta sequência de acontecimentos está esquematizada na Fig. 2.

Em Setembro de 2015, o Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory¹ (LIGO, EUA) detectou, pela primeira vez, o sinal de uma onda gravitacional emitida por um sistema binário de dois candidatos de buracos negros. Desde então, os dois interferómetros do LIGO observaram outros quatro eventos similares, dois dos quais igualmente detectados pela colaboração Virgo (Itália)². A astronomia de ondas gravitacionais abre uma nova janela para os fenómenos mais energéticos do Universo, augurando grandes descobertas num futuro próximo. No entanto, que evidências da existência de buracos negros pode oferecer?

A forma das ondas gravitacionais emitidas após a coalescência de dois buracos negros é, acredita-se, caracterizada pelas frequências dos modos quasi-normais³

¹ Vale a pena aceder a <https://www.ligo.caltech.edu> para saber mais sobre ondas gravitacionais e sua detecção.

² Em Outubro do passado ano, as duas colaborações anunciaram também a primeira detecção simultânea de radiação electromagnética e de ondas gravitacionais resultantes da colisão de duas estrelas de neutrões.

³ Modos quasi-normais são modos normais, i.e., modos próprios de vibração, de sistemas dissipativos.

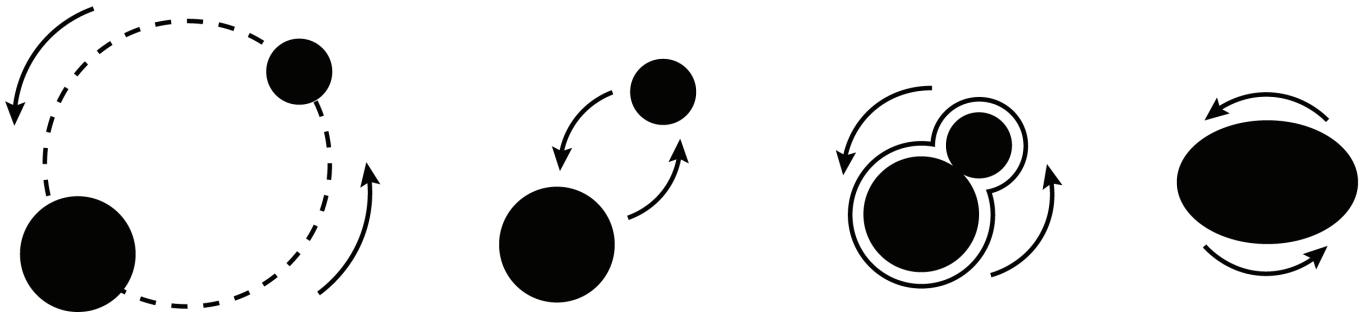


Figura 2: Sistema binário constituído por dois objectos compactos. Da esquerda para a direita: (1)-(2) *inspiral phase* – os objectos orbitam em torno um do outro e aproximam-se gradualmente em resultado da perda de momento angular; (3) *merger phase* – os objectos coalescem; (4) *ringdown phase* – da coalescência forma-se um novo objecto compacto, que evolui para um estado de equilíbrio estacionário. A sequência *inspiral-merger-ringdown* é acompanhada pela emissão de ondas gravitacionais.

do buraco negro remanescente, que são totalmente definidas por apenas três parâmetros: a sua massa, carga e momento angular⁴. Serão estas frequências a chave para uma prova conclusiva, ainda que indirecta, da existência de buracos negros? A resposta não é clara e exige cautela. No plano teórico, há objectos compactos, ditos exóticos, tipicamente sem horizonte de eventos, que se assemelham a buracos negros, embora os seus espectros de frequências quasi-normais sejam, em geral, ligeiramente diferentes [3,4]. Este comportamento mimético lança dúvidas sobre a natureza dos objectos que produziram as ondas gravitacionais recentemente detectadas. Ainda assim, acredita-se ser possível distinguir os objectos na fase final de *ringdown*, em que as diferenças entre os espectros de frequências parecem manifestar-se. Apesar da precisão das observações actuais não ser ainda suficiente para tal distinção, alguns modelos de objectos exóticos podem, com a física e tecnologia disponíveis, ser descartados.

A primeira detecção de ondas gravitacionais inaugurou uma nova era da astronomia. Dentro de quinze anos, a Laser Interferometer Space Antenna (LISA) juntar-se-á às colaborações LIGO e Virgo num esforço sem precedentes para conhecer a natureza dos objectos compactos que povoam o cosmos. Serão mesmo buracos negros? Povoam o cosmos. Serão mesmo buracos negros? ■

⁴ Em geral, os candidatos a buracos negros são considerados corpos neutros. Após a coalescência, a carga do objecto remanescente é rapidamente neutralizada por partículas carregadas na sua vizinhança.

Referências:

- [1] R. Ruffini, J. A. Wheeler. Introducing the black hole, Phys. Today 24, 30 (1971).
- [2] C. A. R. Herdeiro e J. P. S. Lemos, O buraco negro cinquenta anos depois: A gênese do nome, Gazeta de Física 41(2), 2 (2018).
- [3] V. Cardoso, E. Franzin e P. Pani, Is the Gravitational-Wave Ringdown a Probe of the Event Horizon?, Phys. Rev. Lett. 116, 171101 (2016).
- [4] V. Cardoso e P. Pani, Tests for the existence of horizons through gravitational wave echoes, Nat. Astron. 1, 586–591 (2017).

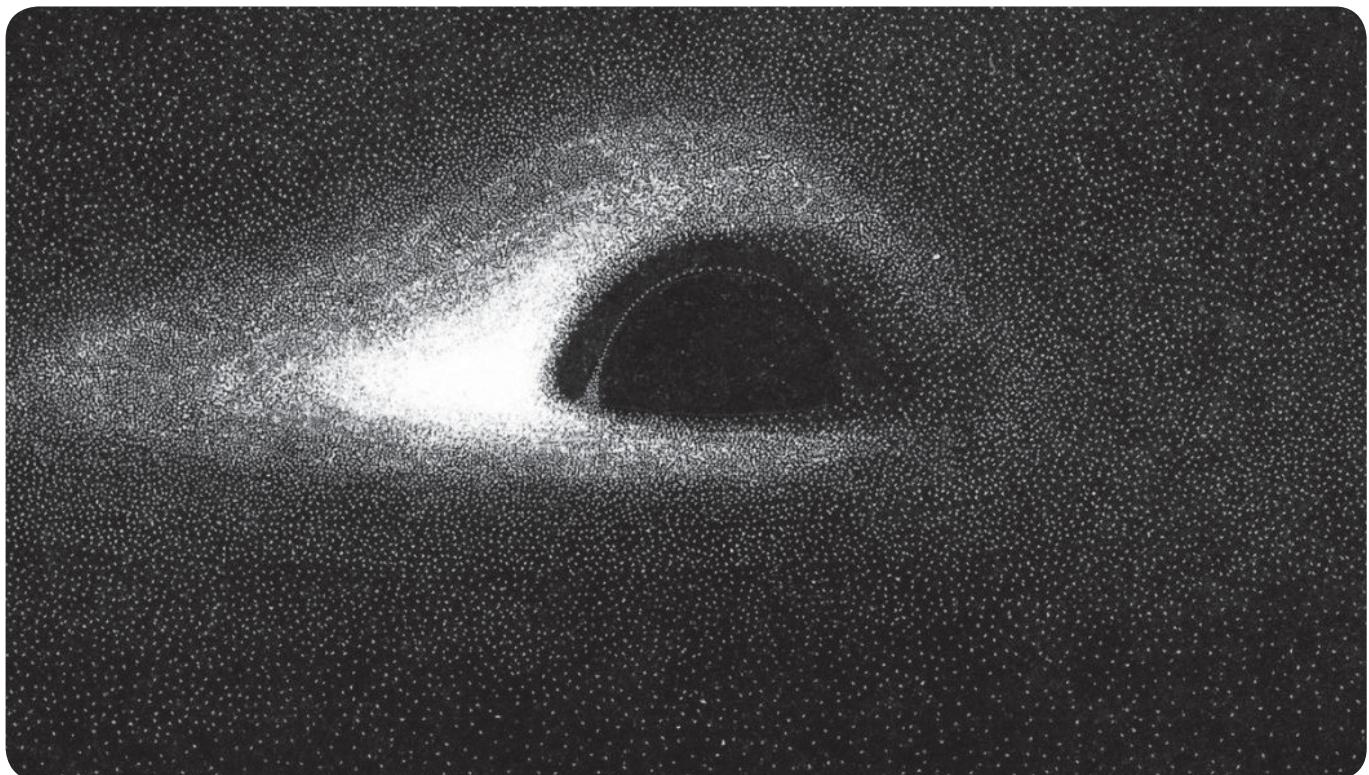


Figura 3: Em 1978, Jean-Pierre Luminet produziu a primeira imagem detalhada da aparência de um buraco negro usando apenas um computador antigo, alguma matemática e muita tinta.

Mais é Diferente

Emergência de propriedades coletivas num isolante de Mott

por Francisco Brito, finalista do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica

Afísica clássica não descreve corretamente uma vasta gama de fenómenos, ditos quânticos. Naturalmente, a teoria quântica difere em vários aspectos da bem conhecida teoria clássica, ou newtoniana. Focaremos uma das diferenças particularmente importantes para o nosso sistema de interesse: a noção de distinguibilidade. A descrição clássica de um gás consiste num conjunto de partículas [imaginem-se bolas de bilhar] em permanente movimento. Cada partícula tem uma dada energia cinética devido à agitação térmica. A sua velocidade é alterada sempre que colide com outra partícula [ou, mais raramente, quando uma partícula colide com a parede do recipiente]. Assumindo que o sistema está em equilíbrio térmico, a distribuição da energia cinética total pelas partículas é bem definida e está centrada em torno de um valor médio. Esta distribuição define a temperatura do sistema. Embora o movimento das partículas seja determinístico, tipicamente um gás tem um número demasiado grande de partículas para que possamos resolver o sistema de equações de movimento correspondente. A abordagem usual é probabilística. As propriedades termodinâmicas de um sistema são obtidas através de considerações estatísticas ("a média de uma dada quantidade é x"). O leitor exigente estará, neste ponto, insatisfeito. Certamente, já terá concluído que nem sempre a média é um bom indicador estatístico em determinadas situações do dia a dia. No entanto, neste caso, a média é particularmente útil porque as flutuações em torno desta são absolutamente irrelevantes para um número de partículas da ordem da constante de Avogadro. A validade do tratamento estatístico referido acima depende de uma condição que tomamos, em geral, por garantida: a de que as partículas são distinguíveis.

No caso quântico, a distribuição de energias de um sistema é resultado da natureza intrinsecamente probabilística do sistema. Contrariamente ao caso familiar de partículas clássicas, não é possível distinguir partículas quânticas do mesmo tipo. De facto, o próprio conceito de individualidade de cada uma destas partículas - ditas idênticas - deve ser abandonado. O comportamento do sistema só pode ser descrito coletivamente e não é possível descrevê-lo por simples extração das propriedades das partículas que o constituem. Em 1927, Sommerfeld aplicou este conceito para adaptar a teoria do gás clássico a partículas quânticas. Este modelo relativamente simples, dito de eletrão livre, já captura algumas das propriedades dos metais!

Uma forma de decidir se podemos tratar um sistema classicamente ou se temos de recorrer à teoria quântica é

estimar a chamada ação típica associada ao fenômeno em estudo. Fenômenos quânticos têm ação típica da ordem da constante de Planck, $\hbar \sim 10^{-33} \text{ kgm}^2/\text{s}$. Quais as ordens de grandeza das quantidades que definem a ação das partículas num sólido? Por exemplo, um eletrão, de massa 10^{-30} kg , velocidade 10^6 m/s , movendo-se de distâncias da ordem de \AA ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$) tem ação típica $10^{-34} \text{ kgm}^2/\text{s}$. Logo, um eletrão num sólido é quântico!

Para descrever eletrões num sólido consideramos um sistema de átomos numa rede periódica; suponhamo-la quadrada. Os eletrões são muito mais leves que os núcleos de cada átomo, que são vistos como quase imóveis por comparação. Num átomo isolado, um eletrão pode tomar valores discretos de energia, ocupando um dado nível de energia. Por outro lado, eletrões no sistema complexo de átomos no sólido assumem valores em bandas de energia, espaçadas, ou não, por zonas proibidas e que são ocupadas sequencialmente, por ordem crescente de energia. Cada banda pode ser ocupada por um número de electrões igual a duas vezes o número de átomos na rede (o factor de dois deve-se ao número quântico de spin). A teoria de bandas classifica os sólidos como sendo metais se existirem bandas parcialmente preenchidas, ou isoladores se a última banda preenchida, dita de valência, estiver totalmente ocupada e a seguinte, dita de condução, totalmente vazia. A separar a banda de valência e a de condução existe um hiato energético (gap em inglês). A figura 1 ilustra estes dois comportamentos, sendo que um terceiro, o de semicondutor, é habitualmente realçado dada a sua importância tecnológica, embora este não seja mais do que um isolador com hiato inferior a cerca de 4 eV. A teoria de bandas teve enorme sucesso até se verificar que esta falha na classificação dos chamados isoladores de Mott, que a teoria prevê serem condutores.

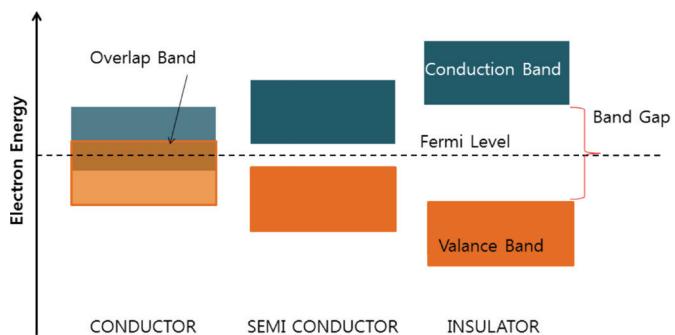


Figura 1: Classificação de materiais de acordo com a teoria de bandas.

De facto, um dos pressupostos da teoria de bandas é que os eletrões são insensíveis à presença uns dos outros (não se vêem): despreza-se a interação de Coulomb entre eles. Na verdade, a validade deste pressuposto depende do material em estudo. A conjugação das várias interações no sólido pode originar fenómenos muito variados. Por vezes, alguns efeitos cancelam-se, ou amplificam-se mutuamente. Mesmo que a interação eletrónica em si não seja desprezável, pode ser cancelada por outros efeitos. Contudo, nos isoladores de Mott, são as interações repulsivas de Coulomb entre os eletrões as responsáveis pelo comportamento isolador. Neste caso, são as correlações, ou interdependências, entre os eletrões num sólido que conduzem à emergência de propriedades puramente coletivas.

Num sistema correlacionado, o “movimento” de uns afecta o de outros. Talvez a situação fique mais clara considerando uma analogia. Quando uma onda sonora se propaga, as moléculas no ar oscilam coletivamente. Se não fosse o caso, isto é, se as flutuações de densidade fossem aleatórias, não ouviríamos qualquer som. Este é um fenómeno cuja ocorrência depende de um comportamento coletivo, de correlações entre as moléculas. Ora, num sistema correlacionado, como um conjunto de eletrões interagindo entre si, o mesmo acontece: há fenómenos que só se explicam considerando a interação entre elementos. O comportamento colectivo apenas é possível porque os vários constituintes do sistema são sensíveis à presença uns dos outros. Este dá origem à emergência de propriedades frequentemente contraintuitivas. Um exemplo físico simples é o de um íman. A descrição microscópica de um íman consiste em imaginar que cada átomo contém aquilo a que se chama um momento magnético. Por simplicidade, imaginemos um momento magnético como uma bússola. Imaginemos que a direção em que cada bússola está alinhada (fora da ação do campo magnético terrestre) afeta o alinhamento das outras. Então, uma situação em que todas as bússolas, ou momentos magnéticos, apontam na mesma direção é um exemplo de comportamento emergente, dando origem ao magnetismo. Este fenómeno emergente não ocorre espontaneamente para um só momento magnético. É de natureza coletiva e ocorre devido ao elevado número de átomos num sólido.

Voltemos ao caso do isolador de Mott. Em certos materiais (nomeadamente óxidos de metais de transição), quando a pressão é elevada, o salto dos electrões de um átomo para outro é favorecido. Em termos energéticos, isto traduz-se numa elevada energia cinética dos electrões que conduz ao estabelecimento de uma corrente elétrica: o material é então um metal. A alta pressão, os outros termos energéticos, como o correspondente às interações eletrónicas, são menos relevantes face ao termo cinético. Ao diminuirmos a pressão, eventualmente encontramos uma pressão crítica que separa a fase metálica de alta pressão da fase isoladora. À pressão crítica, o termo das interações é tão relevante como o cinético e a corrente é inibida.

O modelo de Hubbard é o mais simples que é capaz de capturar a essência da transição de Mott. Neste, por um lado, assume-se que os eletrões de valéncia saltam entre orbitais de diferentes átomos. Esta situação favorece o estabelecimento de uma corrente. Em contraste, a situação

em que dois eletrões de spins opostos ocupam a mesma orbital, de acordo com o princípio de Pauli, é desfavorecida devido à repulsão de Coulomb, que é particularmente relevante quando os electrões estão mais próximos, ocupando a mesma orbital de um dado átomo. O aparecimento de uma fase isoladora deve-se ao facto de a situação em que temos um electrão por orbital, evitando dupla ocupação, ser particularmente favorável. O “movimento” eletrónico (através de saltos entre orbitais de diferentes átomos) requer dupla ocupação. Esta implica uma forte penalização energética. Logo o sistema é um isolador dado que o estabelecimento de uma corrente é desfavorecido. Os eletrões tendem a ficar “presos” aos átomos que ocupam. Em contraste, note-se que no caso da teoria de bandas, o sistema com um electrão por átomo é um metal pois corresponde a uma banda semi-preenchida.

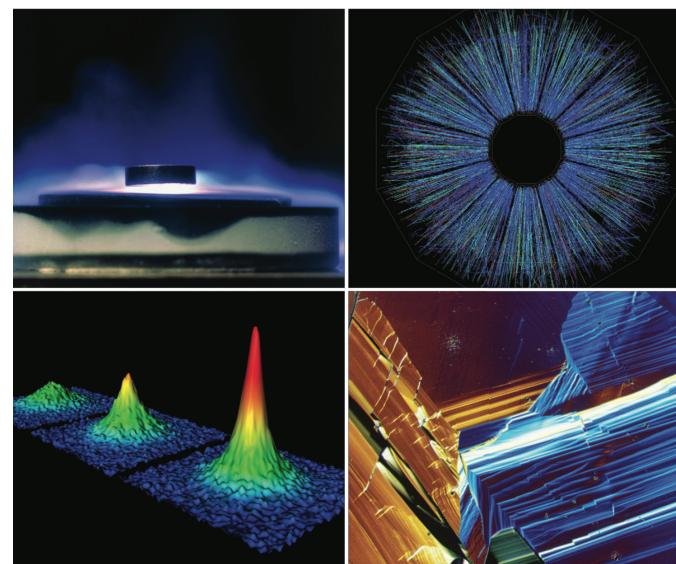


Figura 2: As correlações fortes entre as partículas que compõe um sistema são o elemento em comum entre alguns fenómenos físicos fascinantes como (no sentido dos ponteiros do relógio, desde o canto superior esquerdo) supercondutores a alta temperatura, plasmas quark-gluão, supercondutores orgânicos e - mediante determinadas condições - nuvens de átomos ultrafrios.

Os isoladores de Mott podem ser usados para fabricar dispositivos de memória de escrita rápida (10^{100} ns). Nestes dispositivos, o controlo da ocupação das orbitais eletrónicas é fundamental. As transições de fase estruturais e eletrónicas do sistema correlacionado estão na origem das suas propriedades peculiares. A alternância entre estados coletivos sob ação de estímulos externos permite codificar, armazenar e processar informação. Os isoladores de Mott poderão também ser cruciais na fabricação do memristor, um componente neuromórfico, usado para imitar a arquitetura neurobiológica do sistema nervoso num circuito elétrico, como a própria designação indica. Num memristor, a resistência elétrica depende da corrente que circulou no componente no passado. A história do sistema afeta as suas propriedades: o dispositivo “lembra-se” do seu passado. A esta propriedade chama-se não-volatilidade. No cérebro, os neurónios vão-se adaptando ao longo do processo de aprendizagem, preservando “memória” da sua história e as sinapses possuem plasticidade. Este efeito poderá ser replicado pelo memristor. ■

Pequenos dispositivos, Grandes contribuições

por Ana Rita Soares e Pedro Ribeiro, alunos do Programa Doutoral Advanced Integrated Microsystems

Nos anos 90 a IBM com o objetivo de aumentar a capacidade de memória dos discos rígidos desenvolveu a primeira cabeça de leitura baseada em sensores magnetoresistivos. O grupo do Prof. Paulo Freitas no INESC-MN esteve sempre na linha da frente a nível mundial nesta área de investigação.

No domínio dos dispositivos de diagnóstico estão a ser desenvolvidas soluções que passam pela integração destes sensores em chips multifuncionais, com sistemas microfluídicos de preparação de amostras biológicas (e.g. sangue, leite, urina, saliva, ...) e plataformas electrónicas que permitem o controlo do sistema, a aquisição e o tratamento do sinal. Estas são plataformas portáteis, de fácil utilização, para diagnóstico através da deteção de biomarcadores (bactérias, vírus, ácidos nucleicos, proteínas,...), as chamadas plataformas tipo PoC (Point-of-care).

Neste artigo fazemos um resumo da tecnologia na base dos sensores magnetoresistivos e apresentamos alguns exemplos de aplicações relacionadas com plataformas de diagnóstico em desenvolvimento no INESC-MN.

Sensores Magnetoresistivos

Os sensores magnetoresistivos podem ser comparados a pequenas bússolas electrónicas - são resistências eléctricas cujo valor depende do campo magnético aplicado.

As válvulas de spin são umas das estruturas onde o efeito magnetoresistivo pode ser observado. Estas são constituídas por uma série de camadas de materiais metálicos magnéticos e não magnéticos. A estrutura mais simples destes sensores é composta por duas camadas ferromagnéticas (geralmente ligas de níquel e ferro ou de cobalto e ferro), separadas por uma não magnética (geralmente cobre). Uma das camadas magnéticas está presa magneticamente, ou seja, não é sensível ao campo magnético, enquanto a outra camada roda, tal como a agulha de uma bússola, em resposta a um campo magnético, mesmo que diminuto. A camada magnética presa serve como referência, como que a indicar o Norte.

O sinal elétrico destes transdutores depende assim da orientação relativa das camadas magnéticas e corresponde a variações na resistência do dispositivo. De um modo simplificado, esta variação de resistência, ou efeito magnetoresistivo, está relacionada, com a dispersão dos electrões da corrente eléctrica que passa pelas várias camadas e respectivas interfaces entre camadas magnéticas e não-magnéticas.

A variação da resistência em função do campo aplicado é caracterizada através da magnetoresistência (MR), descrita pela seguinte equação:

onde R_{Max} é a resistência máxima do sensor e R_{Min} a resistência mínima (Figura 1).

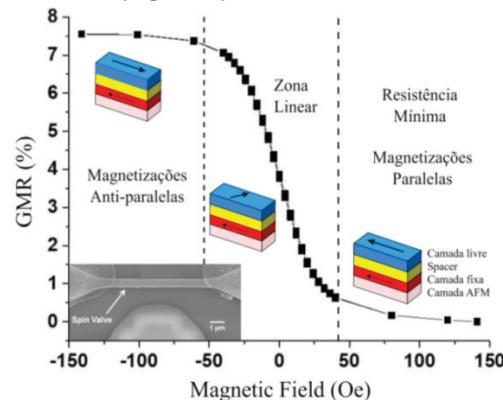


Figura 1: Resposta típica de um sensor^[1]. Inset: fotografia de microscopia electrónica de varrimento do sensor^[2].

A variação linear da resistência em função do campo magnético externo é a chave para que estes sensores possam ser usados como transdutores.

Geralmente estes sensores têm dimensões da ordem dos nanómetros em espessura e micrómetros em comprimento e largura. São também muito sensíveis, sendo capazes de detectar campos magnéticos gerados por esferas magnéticas nanométricas, campos magnéticos gerados no cérebro ou no coração, cerca de mil vezes mais pequenos que o campo magnético terrestre.

Todas estas aplicações têm sido exploradas pelos investigadores do INESC-MN, e têm permitido aos alunos do IST iniciar uma carreira tecnológica/científica em áreas relacionadas com nanotecnologias, física aplicada, electrónica, materiais, mecânica ou bioengenharia. Actualmente, o grupo de Spintrónica e Sensores Magnéticos do INESC-MN tem uma equipa de 30 investigadores a trabalhar na área de detecção magnética.

Marcadores Magnéticos

As moléculas biológicas por si só, não sendo magnéticas, não provocam qualquer tipo de resposta nos sensores magnetoresistivos, pelo que é necessário ligar marcadores magnéticos através de um elemento de reconhecimento, por exemplo um anticorpo ou sequências de ADN (Figura 2a).

Estes marcadores magnéticos são tipicamente esferas micro ou nanométricas superparamagnéticas, para não apresentarem magnetização remanente na ausência de campo externo. Isto permite minimizar a atracção de carácter magnético entre partículas vizinhas e evitar a aglomeração. Por outro lado, devem apresentar o maior momento magnético possível na presença de um campo externo, de forma a originar sinais elevados (Figura 2b).

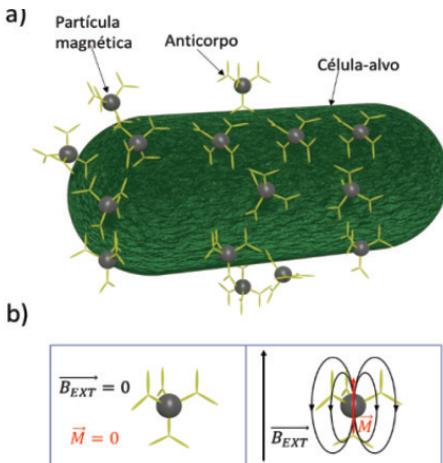


Figura 2: a) Esquemático da funcionalização imuno-magnética de alvos biológicos. b) Partículas superparamagnéticas apenas na presença de um campo magnético externo adquirem uma magnetização.

Os sensores magnetoresistivos são sensíveis ao campo magnético gerado pelas partículas ligadas às moléculas alvo, o que permite fazer a sua detecção.

Estratégias de Detecção

Ao chip de silício com os sensores é possível incorporar um sistema de microfluídios, que não é mais do que uma estrutura com canais à microescala, através dos quais a amostra líquida a ser analisada é conduzida às zonas de detecção (Figura 3).

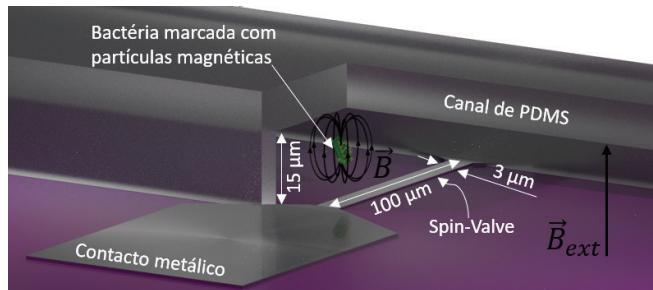


Figura 3: Diagrama do chip integrando um sistema de microfluídios polimérico. *PDMS (Poly(dimethylsiloxane)).

O sistema de microfluídios pode ter a jusante do módulo de detecção, uma unidade de preparação da amostra biológica que funcione como um laboratório miniaturizado para a realização dos vários processos envolvidos na preparação da amostra. Nomeadamente separação, purificação, concentração, marcação e/ou amplificação das moléculas alvo.

Quanto ao método de detecção pode seguir dois conceitos diferentes, um onde os sensores detectam os analitos que passam em fluxo à sua superfície - detecção dinâmica - ou outro onde os analitos se fixam na superfície do sensor - detecção estática.

A detecção estática consiste na análise de um pequeno volume de amostra que é levada a contacto com a superfície do sensor. Em seguida a solução com as partículas magnéticas e o elemento de reconhecimento é adicionada ao sistema. A diferença entre o sinal de base do sensor e o sinal final está relacionado com a concentração do elemento biológico presente na amostra (Figura 4).

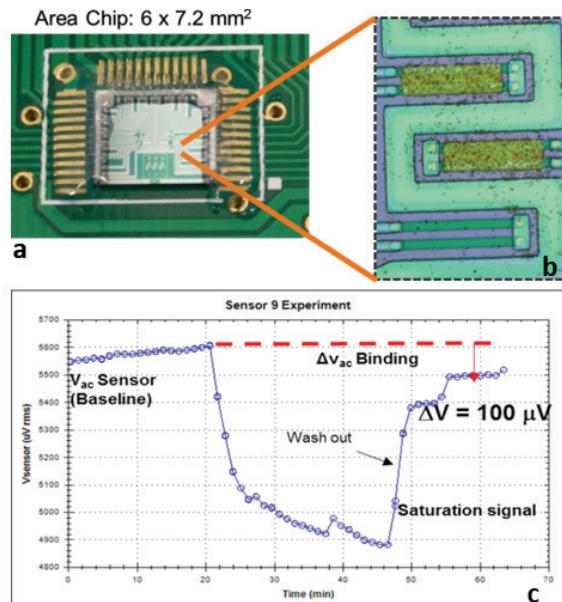


Figura 4: a) Circuito integrado com o chip magnetoresistivo. b) Fotografia microscópica onde se veêm 2 sensores cobertos de nano-partículas e 1 sensor de referência (sem partículas). c) Sinal obtido durante uma medição^[3].

Mais recentemente tem vindo a ser desenvolvida uma nova estratégia de detecção dinâmica. Este método visa o desenvolvimento de um citómetro de fluxo magnético, que oferece grandes vantagens relativamente ao citómetro de fluxo convencional, ao nível da integração e miniaturização do sistema, assim como na facilidade de utilização.

Este trabalho começou com um projecto focado na extração e contagem de células em amostras de sangue do cordão umbilical ou medula óssea de larga aplicação na terapia genética. Ao longo destes últimos anos têm sido também exploradas outras aplicações, como a detecção de bactérias presentes, quer em infecções de pé diabético, quer em amostras de leite e monitorização de águas.

Nesta plataforma, através de um sistema de microfluídios, a amostra líquida é feita passar por cima do sensor com um fluxo constante. Neste tipo de sistemas é possível a análise em tempo real de amostras que são introduzidas através de microcanais sobre a superfície dos sensores.

A aquisição do sinal é contínua e em tempo real e, quando da passagem de um elemento biológico marcado magneticamente por cima de um sensor vai gerar uma variação bipolar no sinal base do mesmo.

Em resumo, sensores magnéticos, originalmente desenvolvidos para aplicação em sistemas de informação e nano-electrónica, revelaram características extraordinárias para detecção biológica. A associação das nano-partículas, como marcadores, aos sensores magnéticos, deu origem a sistemas de diagnóstico com aplicação nas mais diversas áreas e que revelam avanços promissores ao nível dos chamados sistemas PoC. Estas plataformas apresentam-se como um desafio de grande interesse para a área dos dispositivos biomédicos. ■

Referências:

- ACS Nano, V. C. Romão, Lab-on-Chip Devices: Gaining Ground Losing Size, DOI:10.1021/acsnano.7b06703.
- Spintronic Sensors, P. P. Freitas, R. Ferreira and S. Freitas, Proceedings of the IEEE, pp. 1894-1918, Sep. 2016.
- Ultra-Compact 100 x 100 μm² Footprint Hybrid Device with Spin-Valve Nanosensors, D. Leitão et al., 15(12), pp. 30311-30318, Dec. 2015.

Ciência e Música

A Física da Música ou a Música da Física?

por António Coelho, aluno do 4º ano do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST

A relação entre a física e a música pode ser abordada das mais variadas formas. Devido ao espaço limitado que tenho para escrever, focar-me-ei numa abordagem que, à primeira ordem, me parece ser a mais natural.

Comecemos por notar que, assim como os físicos têm uma necessidade enorme de catalogar os fenómenos, de ordenar a natureza, também na música há, de certa forma, essa necessidade. Na verdade, isso ocorre com todas as áreas do saber, e é curioso que ao escrever isto pense logo num texto do Heriberto Helder, onde o poeta sumaria bem o que quero dizer com a necessidade de catalogar (o que, nas suas palavras, corresponde a arranjar um estilo):

"o estilo é um modo subtil de transferir a confusão e violência da vida para o plano mental de uma unidade de significação. [...] não aguentamos a desordem estuporada da vida. E então pegamos nela, reduzimo-lo a dois ou três tópicos que se equacionam. Depois, por meio de uma operação intelectual, dizemos que esses tópicos se encontram no tópico comum, suponhamos, do Amor ou da Morte."

No caso dos físicos atrevo-me a dizer que os tópicos seriam, por exemplo, o campo \vec{E} e o campo \vec{B} , que, por meio da operação intelectual

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t}$$

[e mais 3 outras], se encontram no tópico comum do Eletromagnetismo.

Mas voltemos à música e à forma como ela cataloga. Comecemos por definir uma nota musical como sendo um determinado som com uma frequência bem definida. O intervalo entre duas notas de frequências ν_1 e ν_2 é definido pela razão ν_2/ν_1 sendo que, quando $\nu_2 = 2\nu_1$, tem-se um intervalo de oitava e os dois sons são percebidos como a mesma nota só que com alturas diferentes. Recordando agora a expressão que relaciona os sucessivos harmónicos com o fundamental (essa Mecânica Geral ainda está no sítio?) no caso de uma corda presa nos extremos, temos

$$\begin{aligned}\nu_n &= n\nu \\ \nu_1 &= \sqrt{T/\mu}/2L.\end{aligned}$$

Se reduzirmos o comprimento a metade, produzimos som uma oitava acima; já se reduzirmos na proporção 2:3, obtemos uma razão de frequências de 3/2, etc. Considerando o dó como a fundamental, então as sucessivas harmónicas numa dada escala são:

Nota	dó	ré	mi	fá
ν_n/ν_1	1	9/8 (segunda)	5/4 (terça)	4/3 (quarta)
Nota	sol	lá	si	dó
ν_n/ν_1	3/2 (quinta)	5/3 (sexta)	15/8 (sétima)	2 (oitava)

Não esquecer também que, tal como a decomposição de Fourier nos ensina [como está essa análise complexa?], sempre que dedilhamos uma corda da guitarra, não estamos a tocar uma só nota com uma frequência bem definida. Ainda que, obviamente, com amplitudes diferentes, todos os harmónicos são excitados! Se analisarmos com atenção a tabela vemos que: se definirmos ν_1 como o dó da escala 1 [dó-1], então $\nu_2 = 2\nu_1$ é o dó da escala seguinte [dó-2], $\nu_3 = 3\nu_1$ é o sol-2 [pois $\nu_3/\nu_2 = 3/2$], $\nu_5 = 5\nu_1$ é o mi-3, e assim sucessivamente...

Entremos, agora, num campo ainda mais profundo e tentemos responder à questão: porque é que a sequência de notas dó-mi-sol (acorde de Dó-maior) é-nos tão harmoniosa? É que os harmónicos de dó-1 são, como acabámos de ver, dó-2, sol-2, mi-3, ..., e as notas mi-1 e sol-1 possuem harmónicos que coincidem em grande parte com estes harmónicos do dó-1. Conclusão: há uma consonância! ¹

Esta estreita relação entre o mundo das sensações musicais e o mundo das frequências pode, claro, dar origem a conclusões despropositadas e forçadas. A física obriga a definições, a estilos rigorosos (ainda bem que assim é), e no âmbito das sensações a discussão tende normalmente a dispersar. Contudo, e tal como acabámos de ver, se analisarmos o elo entre as duas áreas do ponto de vista correto, é deliciosa a forma como elas de facto se relacionam.

Termino voltando ao Heriberto, que anda numa busca incessante de um estilo que possa adotar para sobreviver ao "acontecimento excessivo" que é a vida. Encontrou-o precisamente na matemática e na música:

"Arranjei o meu estilo estudando matemática e ouvindo um pouco de música. – João Sebastião Bach. Conhece o Concerto Brandeburgo n.º 5? Conhece com certeza essa coisa tão simples, tão harmoniosa e definitiva que é um sistema de três equações a três incógnitas. [...] Resolvi milhares de equações. Depois ouvia Bach. Conseguí um estilo." ■

¹ Moysés Nussenzveig. Curso de Física Básica vol. 2.

Agenda Científica



ENEF 2019

28 de Fevereiro a 3 de Março 2019, Lisboa

O Encontro Nacional de Estudantes de Física, evento anual organizado por uma comissão de núcleos de física nomeada pela Physis, tem este ano como anfitrião o NFIST, do Instituto Superior Técnico. Serão 4 dias de palestras, Inside Views, networking e muito convívio. Esperamos vários estudantes de licenciatura, mestrado e doutoramento em Física de todos os lados do país e contamos contigo também.

Mais info: <http://enef.nfst.pt/>



Newtonmas

15 de Dezembro 2018, Instituto Superior Técnico

Já na sua terceira edição, este evento é mais que um simples jantar. Utilizando como pretexto o nascimento de Isaac Newton, a 25 de Dezembro, trata-se sim da celebração do aniversário da Licenciatura em Engenharia Física Tecnológica (LEFT), atualmente MEFT, para a qual estão convidados todos os atuais alunos, alumni, professores, funcionários e todos os que queiram participar nas celebrações.

Mais info: <http://newtonmas-meft.weebly.com/>

Verão na ULisboa

A ULisboa pretende com este programa anual dar a "conhecer e experimentar aos alunos o ritmo e o espírito da vida académica". O evento decorreu ao longo de duas semanas (3 a 7 de Julho para o 10º, 11º e 12º e de 10 a 14 de Julho para o 7º, 8º e 9º) e os alunos participaram em várias atividades dinamizadas pelas escolas associadas à Universidade de Lisboa, com jogos, visitas, workshops e experiências no âmbito dos vários cursos oferecidos nas várias universidades. Esperamos contar contigo no próximo ano!



XXI Semana da Física

Este ano o tema Buracos Negros partiu daqueles que procuramos inspirar. Uma criança de 5 anos na passada Semana da Física perguntou-nos “O que está dentro de um buraco negro?” e ficámos imediatamente intrigados em como responder a uma pergunta tão complexa. Como tal decidimos aceitar o desafio criando novas experiências sobre Buracos Negros: como se criam e o que os torna objetos tão fascinantes.

Mas não é só a origem do tema que foi diferente neste ano. Lançámos este ano a primeira edição do concurso “Traz a tua experiência” com o objetivo de juntar às nossas experiências ideias de todos os alunos de MEFT (que foram afinal de contas aqueles que sempre nos ajudaram ao longo dos anos). Os vencedores, com uma experiência que permitia a visualização de ondas gravitacionais, foram Diogo Ribeiro, Francisco Vazão e Maria Francisca Madeira.

Devemos também referir a ajuda dos docentes que entre palestras e visitas aos laboratórios muito nos aturaram e transmitiram aos alunos presentes todo o entusiasmo presente na vida de um físico. Um especial agradecimento ao professor José Sande Lemos por ter atendido ao nosso pedido de apresentar a palestra de encerramento da semana.

Por isto, e por muitas mais razões, ficámos maravilhados com esta edição da Semana da Física e esperamos que a próxima edição conte com ainda mais conhecimento e, acima de tudo, com muito mais entusiasmo.

