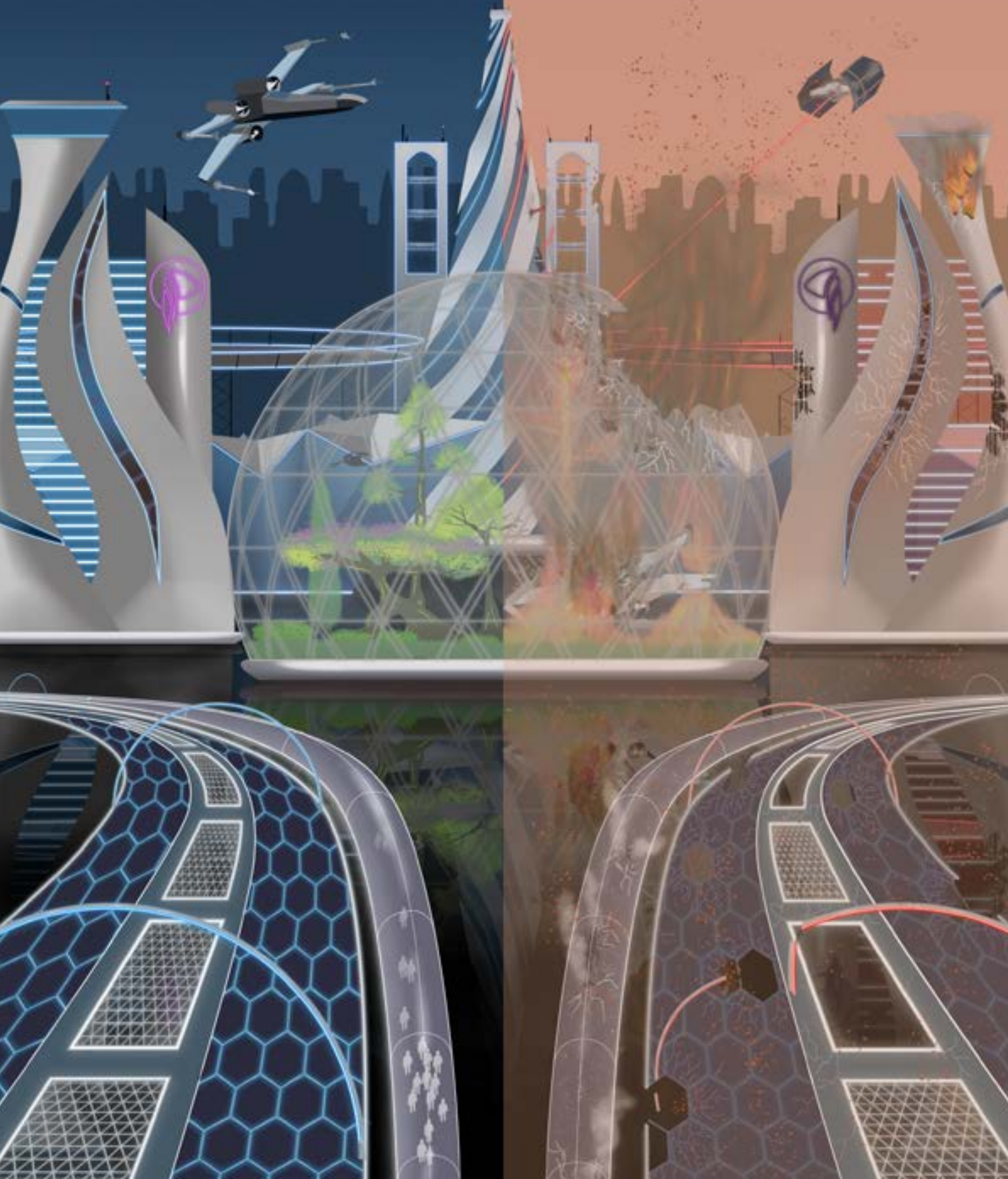
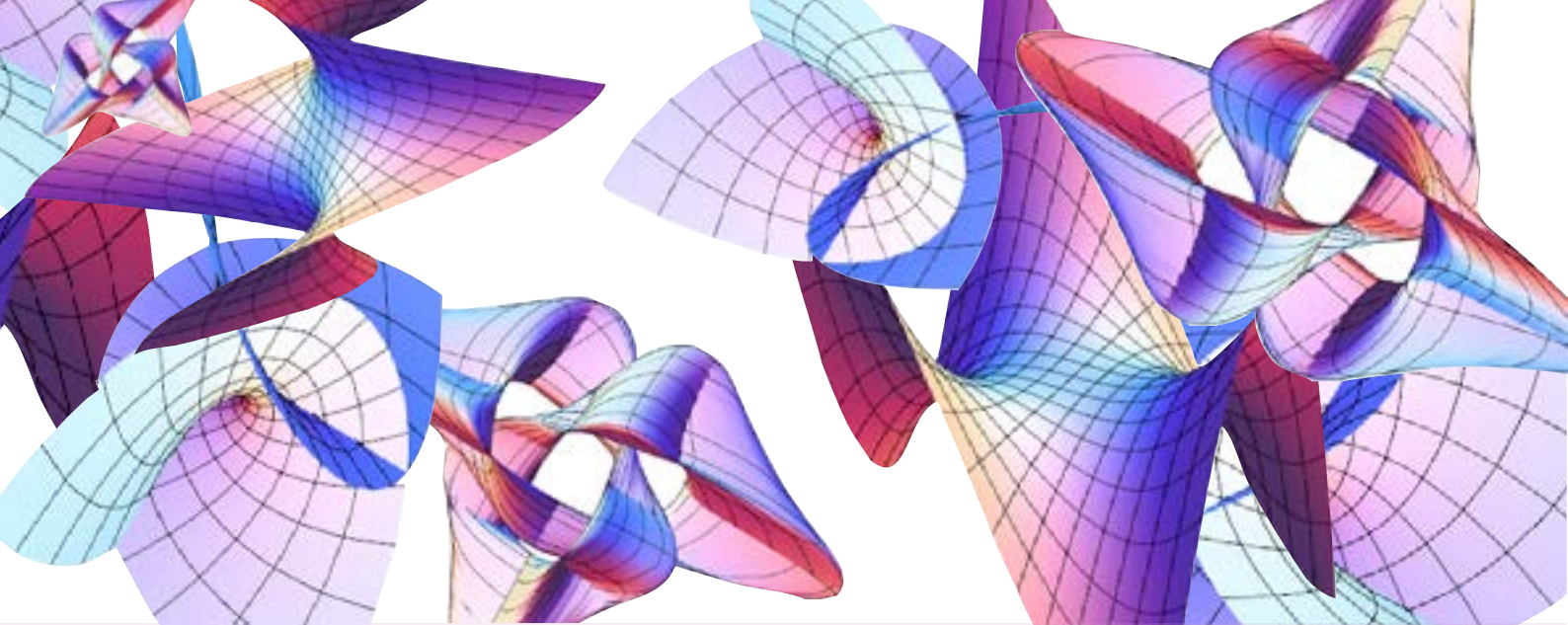


PULSAR

| Edição 43 | setembro 2023 | Distribuição Gratuita |





Destaque acima: Superfícies entrelaçadas formadas através do software Mathematica com a função ParametricPlot3D

Créditos: Paula Matos

Imagem da capa e contracapa: Condições iniciais e reencontro, Ilustração

Créditos: João D. Álvares

Apoio Financeiro



Parceiros



Ficha Técnica

Direção: Ana Margarida Pereira, Mariana Abreu, Estêvão Gomes

Equipa: Ana Margarida Pereira, Bruna Lima, Estêvão Gomes, Filipe Santos, Gonçalo Ribeiro, Guilherme Lourinho, João D. Álvares, Mariana Abreu, Paula Matos

Redação: Alexandre Barbosa, António Oliveira, Bruno Semião, Clara Severino, David Peixoto, Diogo Caetano, Francisca Paiva, Gonçalo Ribeiro, Gustavo Branco, Inês Mesquita, José Mendonça, Luís Silva, Luísa Carvalho, Margarida Gama, Margarida Rebelo, Maria Costa, Mariana Abreu, Patrícia Muíño, Patrícia Torres, Ricardo Barrué, Ricardo Gonçalo, Rodrigo Coelho

Arte

Design e Montagem: Ana Margarida Pereira, Estêvão Gomes, Filipe Santos, João D. Álvares, Paula Matos

Contactos

Site: nfist.pt/pulsar

e-mail: pulsar.nfist@gmail.com

Morada: Núcleo de Física do Instituto Superior Técnico, Avenida Rovisco Pais 1, Edifício Ciência - Departamento de Física, 1049-001 Lisboa

Telefone: 218 419 075 **Ext:** 3075

Índice

- 4** Cristais Líquidos Ativos
- 6** 10 Anos do Bosão de Higgs
- 9** Matéria Escura Vista Através da Sismologia
- 11** Water Bottle Flipping
- 15** Pelas Estradas Escondidas do Cérebro
- 18** A Física de Partículas em Portugal
- 21** Bactérias Multirresistentes
- 24** Proibido Copiar!
- 26** 30 Anos do Grupo de Lasers e Plasmas
- 28** Terapia FLASH
- 30** DIY Physics: Motor Caseiro
- 31** Leituras Recomendadas

Editorial

Caros leitores,

É com grande prazer que vos trazemos mais uma edição da PULSAR, onde mergulhamos num dos temas mais fascinantes e enigmáticos da ciência: o Caos. Nesta edição, convidamo-vos a explorar este conceito complexo que desafia físicos e matemáticos há décadas.

Embora, inicialmente, a palavra “caos” esteja associada à desordem e aleatoriedade, à medida que investigamos mais profundamente, descobrimos uma ordem subjacente a este aparente caos. Destes sistemas caóticos, podem emergir belos padrões, revelando a beleza ordenada que neles se oculta.

O caos está presente em áreas muito diversas e, em cada uma delas, podemos encontrar exemplos fascinantes de sistemas caóticos e comportamentos não-lineares, revelando uma ligação profunda entre diferentes campos do conhecimento. Por isso, nesta 43ª edição da PULSAR, decidimos trazer artigos empolgantes, provenientes das mais variadas áreas da física e da ciência!

Ao longo desta edição, esperamos que se sintam inspirados pelas descobertas científicas apresentadas, que desafiam as nossas perceções do mundo e nos convidam a questionar e explorar a ordem que nasce do aparente caos do Universo.

Bem-vindos ao incrível mundo do Caos!

Até à próxima,

A Direção da PULSAR

Cristais Líquidos Ativos

por Rodrigo C. V. Coelho e Margarida M. Telo da Gama

Centro de Física Teórica e Computacional, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa

Os cristais líquidos são materiais muito utilizados em ecrãs devido às suas propriedades óticas. São formados por moléculas anisotrópicas que, numa descrição simplificada, podem ser em forma de disco ou de bastonete e, como resultado, podem formar fases fluidas que dispersam a luz de uma forma que depende da direção.

Na fase nemática, estas moléculas alinham-se com as vizinhas formando uma estrutura ordenada à semelhança de um cristal, mas que podem fluir como um líquido; daí vem o nome “cristal líquido”. A física dos cristais líquidos passivos é relativamente bem conhecida e baseia-se em décadas de investigação sobre estes materiais.

A matéria ativa, por outro lado, engloba uma classe de sistemas físicos que é capaz de converter em movimento a energia do ambiente que rodeia as partículas [1]. Por exemplo, uma bactéria consome nutrientes à sua volta de forma a conseguir mover-se. Já uma colónia de bactérias é composta por um grande número destas partículas ativas e corresponde a uma forma de matéria ativa.

Outro exemplo de nemático ativo muito estudado consiste numa mistura de microtúbulos e cinesina desenvolvida em laboratório, ver figura 1(a) [2]. Os microtúbulos são proteínas muito longas e rígidas que sustentam a estrutura das células e também servem de guia para o transporte de organelas apoiadas em moléculas de cinesina, as quais funcionam como micromotores cujo combustível são moléculas de trifosfato de adenosina (ou ATP na sigla em inglês). Quando esta mistura de microtúbulos, cinesina e ATP sedimenta e se acumula numa interface entre óleo e água, a cinesina força os microtúbulos a deslizarem uns contra os outros numa dinâmica caótica que se assemelha à turbulência em fluidos comuns, como ar e água.

Este tipo de escoamento é conhecido como turbulência ativa e diferencia-se da turbulência comum por ocorrer na escala de micrómetros e para velocidades de escoamento muito baixas.

Qual o interesse em estudar estas misturas de microtúbulos e cinesina?

Estes sistemas têm a vantagem de serem simples e fáceis de controlar e, portanto, servem como teste experimental das teorias de nemáticos ativos. Para além de serem um modelo experimental, prevê-se a sua aplicação em tecnologias de microfluídica.

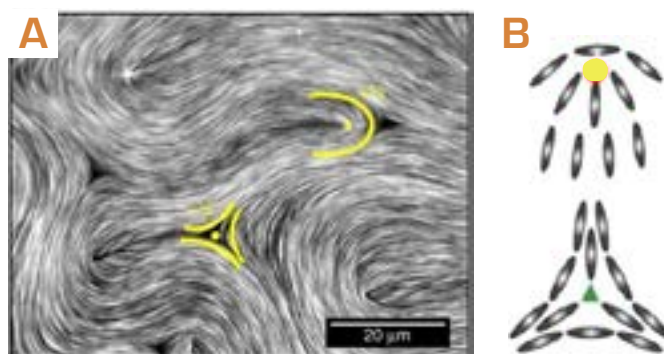


Figura 1: (a) Escoamento caótico numa mistura de microtúbulos e cinesina. (b) Defeitos topológicos em forma de cometa (positivos) e em forma de trevo (negativos) em nemáticos ativos. Estes defeitos estão indicados a amarelo na imagem (a). Fonte: [3].

Um exemplo é a mistura de substâncias em micro-reatores para a produção de fármacos.

À macro-escala, a mistura de líquidos é feita por meio da turbulência, como a que é produzida num liquidificador para misturar os vários ingredientes. Porém, na escala dos micrómetros, os escoamentos são laminares e não se consegue gerar turbulência pelos métodos usuais. Os microtúbulos, que geram escoamentos caóticos à micro-escala, fornecem uma solução.

E outros sistemas nemáticos ativos, para que servem?

Além de serem um exemplo interessante de física estatística fora do equilíbrio, a teoria dos nemáticos ativos pode ser usada para descrever alguns fenómenos biológicos de interesse. Um deles é o crescimento de biofilmes de bactérias como os que se formam nos nossos dentes ou nos equipamentos médicos de forma indesejada. Outro é a invasão de células tumorais em tecidos saudáveis, dado que se sabe que as células invasoras se comportam coletivamente como um nemático.

Portanto, a investigação de sistemas nemáticos ativos pode fornecer pistas sobre como controlar estes e outros fenómenos dinâmicos [3].

Um dos modelos matemáticos capazes de descrever a dinâmica dos nemáticos ativos foi desenvolvido por Antony Beris e Brian Edwards no contexto de cristais líquidos passivos. O modelo consiste em duas equações

diferenciais acopladas: a equação para a dinâmica da orientação das partículas que compõem o cristal líquido e a equação para a dinâmica do campo de velocidades.

Para os nemáticos ativos, adiciona-se ainda à equação das velocidades uma força suplementar que contabiliza o efeito da atividade deste sistema. Quando estas equações são resolvidas por meio de simulações computacionais, elas fornecem resultados que correspondem ao que é observado nas experiências [4].

Uma consequência interessante do alinhamento das partículas num cristal líquido é a formação de defeitos topológicos. Quando a orientação das partículas é aleatória [a altas temperaturas, por exemplo] e depois se ordenam, formam-se domínios em que a orientação varia e os defeitos surgem nas fronteiras destes domínios, uma vez que a orientação é indefinida nestes pontos. Podemos ver algo parecido nos nossos cabelos: na maior parte da cabeça os cabelos estão alinhados com os vizinhos, mas existe um ponto em que isso não é possível e forma-se um defeito, o remoinho. Nas experiências com microtúbulos e noutros nemáticos ativos observa-se a existência de dois tipos de defeitos: um positivo, em forma de cometa, e outro negativo, em forma de trevo [figura 1(b)]. Enquanto o defeito negativo permanece praticamente imóvel, sendo apenas arrastado pelas correntes do fluido, os defeitos positivos movem-se caoticamente. São estes últimos que dão origem à turbulência ativa.

Em aplicações de nemáticos ativos, torna-se importante o controlo do escoamento e dos defeitos. A forma mais simples de controlo é por meio do confinamento do nemático através de paredes sólidas, como num canal retilíneo, ver figura 2(a) [5]. O comportamento do nemático ativo varia muito dependendo da separação entre as placas ou, equivalentemente, da atividade, que pode ser controlada por meio da concentração de ATP em microtúbulos, por exemplo.

Quando as placas estão próximas, o escoamento é aproximadamente coerente, mas com uma direção arbitrária e eventuais mudanças de direção.

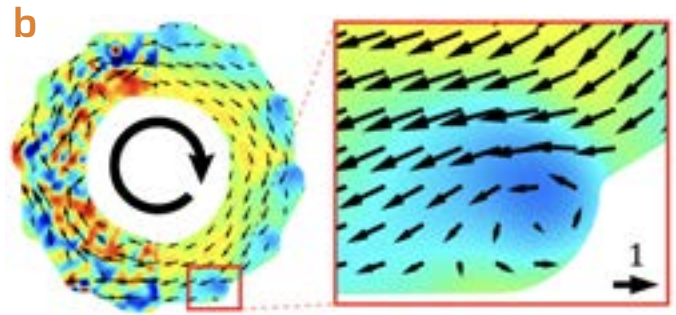
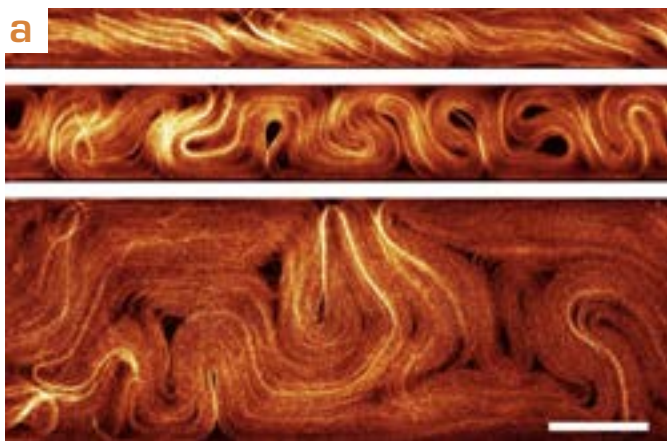


Figura 2: (a) Microtúbulos vistos ao microscópio em canais de diferentes larguras. A barra de escala mede 100 micrómetros. Fonte: [5]. (b) Canal circular com paredes assimétricas. Fonte: [6].

Para separações intermédias ocorre um escoamento curioso onde os defeitos negativos se posicionam junto das paredes e os positivos se propagam em trajetórias oscilatórias através dos canais e em torno uns dos outros, fazendo lembrar os passos de uma dança celta.

Para separações maiores, o escoamento torna-se turbulento como de costume, pois as placas influenciam pouco os microtúbulos que estão no meio. Uma solução encontrada para obter escoamentos coerentes com direção controlada é baseada no uso de canais circulares com paredes assimétricas, ver figura 2(b). Estudaram-se ainda outras formas de controlo do escoamento, como através do uso de motores moleculares ativados por luz ou de substratos anisotrópicos [2].

Por vezes, um nemático ativo está em contato com outro fluido formando uma interface nemático-isotrópico que é também ativo-passivo respetivamente. Isto acontece por exemplo quando parte de uma colónia de bactérias é morta por exposição à luz ultravioleta, ver figura 3(a) [7]. Neste caso, as bactérias vivas, que estão num estado turbulento, invadem a parte passiva e esta interface tem propriedades que se assemelham a interfaces entre dois fluidos e que são bem descritas por modelos matemáticos de nemáticos ativos [4]. Temos então uma interface entre duas fases do mesmo fluido: uma é nemático-ativa [bactérias vivas] e a outra é passiva. Quando a interface se propaga em direção à fase passiva, é como se tivéssemos uma transição de fases em que a parte passiva se vai tornando ativa, ou seja, a quantidade de fluido ativo aumenta com o tempo. Na experiência, temos bactérias mortas que se misturam com bactérias vivas, o que faz com que a área com bactérias vivas aumente.

Há um outro tipo de interfaces em que a quantidade de fluido ativo e passivo se mantém constante no tempo. É o que acontece quando temos microtúbulos e cinesina em coexistência com outro fluido [8]. Na experiência da figura 3(b), vemos uma interface deste tipo em contato com uma superfície formando um menisco, como os que costumamos ver num capilar com água por exemplo. Em fluidos passivos, o ângulo formado entre os dois fluidos e o substrato, o ân-

gulo de contacto, é constante para a mesma temperatura.

Quando um dos fluidos é ativo, as forças na interface fazem com que este ângulo de contacto varie com a atividade. É interessante notar que, devido à atividade do fluido em baixo, uma gota desprende-se e começa a subir pela parede do capilar contra a ação da gravidade!

Qual é o ângulo de contacto para esta gota achatada?

É efetivamente zero, a gota transformou-se num filme fino. Podemos dizer que houve uma transição de molhabilidade devido à atividade, em que o ângulo de contacto é reduzido até se anular. Uma investigação sistemática usando simulações computacionais de gotas nemáticas ativas num substrato revela que existe uma atividade limite, dependente do tamanho da gota, a partir da qual a gota se transforma num filme [9]. Para além da formação do filme, outros estados dinâmicos foram observados, dependendo do substrato e da atividade, como gotas que se movem com velocidade constante e gotas com uma dinâmica caótica.

O estudo de nemáticos ativos é um tópico bastante novo e com muitas questões em aberto, despertando o interesse de muitos grupos de investigação de topo em todo o mundo. Com uma melhor compreensão destes materiais, espera-se poder controlar sistemas biológicos incluindo a formação de tecidos e contribuir para tratamentos contra o cancro.

Para além disso, estes sistemas também representam um caminho promissor no desenvolvimento de dispositivos de microfluídica.

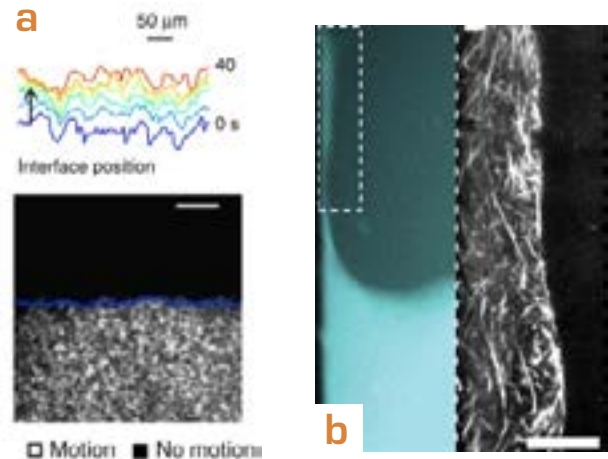


Figura 3: Interfaces ativas. (a) Posição de uma interface ativo-passivo formada entre bactérias vivas (metade inferior) em movimento e bactérias mortas por radiação ultravioleta (metade superior). Fonte [7]. (b) Menisco formado pela interface entre uma mistura de microtúbulos e cinesina e um fluido imiscível. A barra de escala da figura (a) representa 50 micrómetros enquanto a da figura (b) mede 20 micrómetros. Na figura (b) vemos a estrutura de uma gota ativa que sobe pela parede contra a ação da gravidade. Fonte: [8].

Referências:

- [1] Marchetti et al., *Rev. Mod. Phys.* 85, 1143 (2013).
- [2] Mestre. "Colloidal Active Matter: Concepts, Experimental Realizations, and Models". CRC Press (2022).
- [3] Doostmohammadi et. al., *Nat Commun* 9, 3246 (2018).
- [4] Coelho, Araújo and Telo da Gama, *Soft Matter*, 16, 4256-4266 (2020).
- [5] Hardouin et. al., *Commun Phys* 2, 121 (2019).
- [6] Wu et al., *Science* 355, 6331 (2017).
- [7] Patteson, Gopinath and Arratia, *Nat Commun* 9, 5373 (2018).
- [8] Adkins et al., *Science* 377, 6607, 768-772 (2022).
- [9] Coelho, Figueiredo and Telo da Gama, arXiv:2302.10039.

10 anos do Bosão de Higgs

por Luísa Carvalho, Ricardo Barrué, Ricardo Gonçalo e Patrícia Conde Muíño

Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas, Instituto Superior Técnico e Universidade de Coimbra

A partícula a que hoje chamamos bosão de Higgs foi prevista por Peter Higgs, num paper publicado em 1964.

À data, uma teoria quântica de campo da interação eletromagnética tinha sido desenvolvida com sucesso, mas múltiplas tentativas de aplicar a mesma estratégia para descrever a interação nuclear fraca tinham fracassado. Sabia-se que esta interação era de curto alcance, o que indicava que os bosões associados deveriam ter uma massa não nula.

No entanto, a introdução de termos de massa no lagrangiano leva a uma quebra explícita de simetria que não se verifica na natureza.

A solução para este dilema é o mecanismo Higgs¹, que introduz um novo campo quântico com um potencial associado. Este potencial não tem só um estado de mínima energia, como é habitual, mas um conjunto de estados degenerados, que verificam a simetria do lagrangiano.

Quando o Universo arrefeceu, após o Big Bang, o campo de Higgs teve de escolher um desses possíveis estados de

¹ Ou mecanismo de Brout-Englert-Higgs ou Brout-Englert-Higgs-Guralnik-Hagen-Kibble, dado que foi proposto em três artigos independentes no mesmo ano (1964).

mínima energia, quebrando assim de forma espontânea a simetria. Associado com o campo de Higgs, existe uma nova partícula, o bosão de Higgs².

O Modelo Padrão da física de partículas ficou completo com a introdução do bosão de Higgs. Inclui partículas de matéria, os fermiões, divididos entre quarks e léptons e organizados em três famílias com massa crescente.

Os bosões de gauge transmitem a ação das forças fundamentais: os fotões estão associados à força eletromagnética, os bosões Z e W à força fraca e os gluões à força forte. As massas de todas as partículas fundamentais são geradas através da sua interação com o bosão de Higgs mas, na maior parte dos casos, os seus valores têm de ser determinados experimentalmente. Argumentos teóricos colocavam a massa do bosão de Higgs entre 10 e 10000 GeV/c² mas temia-se que o valor dos seus acoplamentos a outras partículas fosse demasiado baixo para permitir a sua descoberta nos aceleradores existentes ou planeados.

Os bosões Z (91 GeV/c²) e W (83 GeV/c²) foram descobertos na década de 80 no CERN no acelerador SPS, em colisões entre prótons e anti-prótons. Pouco tempo depois, iniciaram-se os planos para construir um acelerador de elétrons e pósitrons com uma circunferência de 27 km, o LEP, que entrou em operação no final da década. Permitiu fazer medidas precisas das massas e acoplamentos dos bosões Z e W. À medida que mais dados foram acumulados sem qualquer observação do decaimento do bosão Z para bosões de Higgs, tornou-se claro que a massa deste último deveria ser superior a 91 GeV/c². Entre 1984 e 2011, esteve em funcionamento nos Estados Unidos o acelerador Tevatron, que colidia prótons contra anti-prótons a energias no centro de massa de 1.6-1.8 TeV. O Tevatron descobriu o quark top e fez muitas medições de processos do Modelo Padrão, mas não conseguiu achar o bosão de Higgs.

O LHC foi projetado e construído para proporcionar colisões entre prótons a uma energia do centro de massa de algumas dezenas de TeV, com o objetivo de ser uma máquina de descoberta, do bosão de Higgs ou de novas partículas não previstas pelo Modelo Padrão. Está construído no túnel que albergou previamente o LEP e contém dois detectores, ATLAS e CMS, desenhados para detectar qualquer partícula nova que possa ser produzida.

Anúncio de uma descoberta

Era terça-feira, ao cair da noite, no dia 3 de julho de 2012, entre as montanhas do Jura e a cidade suíça de Genebra. Sós ou em pequenos grupos, várias pessoas começaram aos poucos a chegar ao edifício 500 do CERN, o Laboratório Europeu de Física de Partículas. Já preparados para lá passar a noite. Nos dias anteriores, tinha sido anunciado um seminário para divulgação dos resultados das experiências ATLAS e CMS do LHC. Dizia-se que a imprensa tinha sido convidada, mas muito poucas pessoas sabiam o que ia ser apresentado, mesmo dentro de cada experiência. Já era um pouco o hábito. As análises de dados experimentais

são feitas de forma “cega”: aos próprios investigadores é vedado o acesso aos dados críticos até quase ao fim da análise, de modo a evitar enviesamentos subconscientes. Não tinham surgido rumores bombásticos nos corredores, mas desde dezembro anterior que sabíamos estar a caminho de obter sensibilidade para detectar o hipotético bosão de Higgs.

Por outro lado, desconhecia-se quanto tempo iríamos demorar a lá chegar e, sobretudo, o que iríamos encontrar! E, enquanto físicos, somos basicamente céticos profissionais: precisamos sempre de medidas antes de afirmarmos alguma coisa com segurança. Mesmo que esta partícula existisse, tudo dependeria da sua massa. Sabia-se apenas, de experiências no LEP e Tevatron, que esta seria maior do que 115 GeV/c² e diferente de 160 GeV.

Chegou a manhã de dia 4 de julho, e as poucas pessoas tinham-se transformado numa multidão. As portas abriram e a tensão da expectativa disparou quando entraram dois físicos veteranos, Peter Higgs e François Englert, que 50 anos antes tinham teorizado o bosão e o mecanismo que lhe dá origem. Diante de uma audiência estupefacta e feliz, Joe Incandela e Fabiola Gianotti, porta-vozes de ATLAS e CMS, demonstraram de forma contida e rigorosa a existência de pequenos (mas enormes!) sinais em cada uma das experiências, indicando uma partícula nova com a mesma massa de 125 GeV! Quando o diretor do CERN, Rolf Heuer, concluiu dizendo “Bem, penso que o apanhámos!” a tensão acumulada transformou-se num aplauso impossível de calar, acompanhado de risos de felicidade e lágrimas comovidas de muitas pessoas que tinham dado anos das suas carreiras a esta busca. Durante algum tempo, ambas as experiências continuaram cautelosas nas suas afirmações oficiais, até serem feitas mais medidas da nova partícula.

10 anos depois

Nos últimos 10 anos, milhares de físicos e engenheiros juntaram-se num esforço para operar e melhorar o LHC e os seus detectores, criar técnicas de reconstrução e análise cada vez melhores e previsões teóricas o mais precisas possível, de modo a poder escrutinar esta partícula o mais a fundo possível.

O mecanismo de Higgs prevê um bosão de Higgs eletricamente neutro, com spin 0 e paridade positiva. Após a descoberta, as primeiras medições experimentais comprovaram que a nova partícula tinha de facto essas propriedades. E foi graças a esta confirmação experimental da sua identidade, que o prémio Nobel de 2013 foi atribuído a François Englert e Peter Higgs.

Ao longo destes dez anos, foram feitas medidas cada vez mais precisas da massa desta partícula. Isto é importante, dado que, no Modelo Padrão, a massa do bosão de Higgs também afeta as suas interações com as outras partículas e é necessária para fazer previsões teóricas sobre as suas propriedades. A massa do bosão de Higgs é hoje em dia conhecida com uma precisão da ordem de uma milésima.

² Dos três artigos publicados, só o de Peter Higgs é que mencionava a existência da nova partícula, daí o bosão ter passado a levar o seu nome.

Foram também observadas separadamente (e com elevada significância estatística) as interações do bóson de Higgs com fótons, bósons W e Z e com as partículas de matéria mais pesadas: o lépton tau, e os quarks top e bottom, assim como as primeiras evidências da interação do bóson de Higgs com muões. Esta última é tão difícil de observar que se achava que não seria possível fazê-lo com o LHC e o facto de estarmos já tão perto de a observar, com ainda mais 20 anos de LHC pela frente mostra o quão longe o espírito colaborativo nos trouxe!

À medida que se acumularam mais dados, foram feitas medições mais precisas, tais como a distribuição de momento dos bósons de Higgs produzidos no LHC, o que permite obter uma pintura mais detalhada do seu comportamento. Até agora, todos estes resultados concordam com as previsões do Modelo Padrão com uma precisão entre 5 e 20%, o que revela o enorme sucesso desta teoria. Apesar de tudo isso, existem várias características do mecanismo e bóson de Higgs que não foram observadas experimentalmente. A mais importante é a determinação da forma do potencial associado ao campo de Higgs. Para isto, é necessário detectar a produção simultânea de dois (!) bósons de Higgs, algo que é extremamente raro.

O Futuro

Dados os resultados experimentais atuais, o leitor poderia estar tentado a pensar que o capítulo do Higgs do Modelo Padrão está fechado. Nada mais longe da realidade. Apesar do êxito tão espetacular desta teoria, e da boa concordância atual com os resultados experimentais, há muitos fenómenos que não consegue explicar, alguns dos quais tremendamente fundamentais. Tal é o caso da dominância da matéria sobre a antimatéria no Universo. Acredita-se que após o Big Bang havia tantas partículas como antipartículas. À medida que o Universo arrefeceu, as antipartículas foram desaparecendo, até chegarmos a uma dominância total da matéria, que o Modelo Padrão não consegue justificar.

Da mesma forma, está demonstrado que uma fração significativa do Universo está feita de matéria escura (perto de 25%), da qual não sabemos nada. Deve existir, portanto, uma teoria maior que englobe o Modelo Padrão, e que possa explicar estes fenómenos. Foram propostas muitas novas teorias, que conseguem justificar algumas destas questões e que prevêem a existência de novas partículas e/ou interações. Mas, apesar das inúmeras pesquisas realizadas no LHC, ainda não foi descoberta nenhuma dessas hipotéticas partículas.

Para continuar a desvendar estes mistérios,

é fundamental não só continuar à procura das partículas previstas por estas teorias e melhorar os métodos de análise de forma a não deixar cantos sem escrutínio, mas também medir as propriedades do bóson de Higgs e os processos previstos pelo Modelo Padrão com mais precisão ainda. Muitas das novas teorias introduzem pequenas modificações nas propriedades do bóson de Higgs que passariam despercebidas se não se atingisse uma alta precisão. E para isso é necessário não só a fase de alta luminosidade do LHC, que durará desde 2029 até aproximadamente 2040, como também um novo colisionador.

A Estratégia Europeia de Física de Partículas, atualizada em 2020, foi elaborada através de um processo de auscultação da comunidade, que culminou na publicação de um documento detalhado sobre as prioridades para os próximos anos.

Este documento propõe que, após a conclusão da fase de alta luminosidade do LHC, será fundamental construir um colisionador electrão-positrão que permita aumentar a precisão nas medições das propriedades do bóson de Higgs, dos quarks top e das interações electrofracas. Existem neste momento quatro projectos candidatos para esse grande futuro colisionador: Dois deles são aceleradores lineares (o International Linear Collider, no Japão, e o Compact Linear Collider no CERN), e outros dois são circulares (o Future Circular Collider, no CERN, e o Circular Electron-Positron Collider na China). Seja qual for a tecnologia escolhida, e mesmo tendo em conta que o próximo colisionador só poderá entrar em funcionamento a partir de 2040, é preciso começar agora um programa coerente e bem focado de investigação e desenvolvimento, não só em aceleradores e nas suas tecnologias associadas mas também em detetores. Estamos portanto no início de uma nova fase que, sem pressa mas sem pausa, nos levará a conhecer um pouco melhor o nosso Universo!

Matéria Escura Vista Através da Sismologia

por Clara Severino

CENTRA Center for Astrophysics and Gravitation, Instituto Superior Técnico

Desde cedo que o ser humano começou a olhar para o céu e a questionar-se sobre a origem daquilo que via. À medida que as suas ferramentas e artifícios matemáticos melhoraram, também as suas dúvidas se multiplicaram e ganharam graus de complexidade. Um destes exemplos é o problema da matéria escura. Enquanto que outrora esta matéria era apenas aquela que não conseguíamos ver com os nossos olhos, a definição moderna inclui toda a matéria que (praticamente) não produz radiação eletromagnética.

O mistério da matéria escura

Porque é que esta é uma questão complexa? Bem, hoje sabemos que a matéria escura compõe 85% da matéria do universo, e ao mesmo tempo, não fazemos ideia do que é feita. Começemos pela primeira parte. No último século, vários foram os argumentos que evidenciaram a existência (e preponderância) da matéria escura. Tudo começou em 1933, quando Zwicky, um astrónomo suíço, media a veloci-

Para além destes, mais argumentos surgiram, como o fenómeno de lentes gravitacionais, nas quais a luz vinda de um objeto é distorcida pelo potencial gravítico de um obstáculo no seu caminho (ver Figura 1).

Nesta situação, observou-se que a distorção causada por galáxias e aglomerados de galáxias era mais significativa do que o esperado, tendo em conta apenas a sua matéria luminosa [3].

Tendo estabelecido então que esta matéria deve existir, foquemo-nos na segunda parte: porque não sabemos que partículas a compõem?

Em primeiro lugar, as interações desta matéria com o campo eletromagnético são virtualmente inexistentes, sendo as suas interações maioritariamente através da força gravítica (tal como se viu nos argumentos mencionados).

Sumariamente, são partículas muito estáveis e que raramente interagem. Já foi possível, no entanto, excluir todas as partículas do modelo padrão como possíveis candidatas.

Resta assim procurar por partículas cuja existência ainda não foi provada, como é o caso das WIMPS (partículas mas-

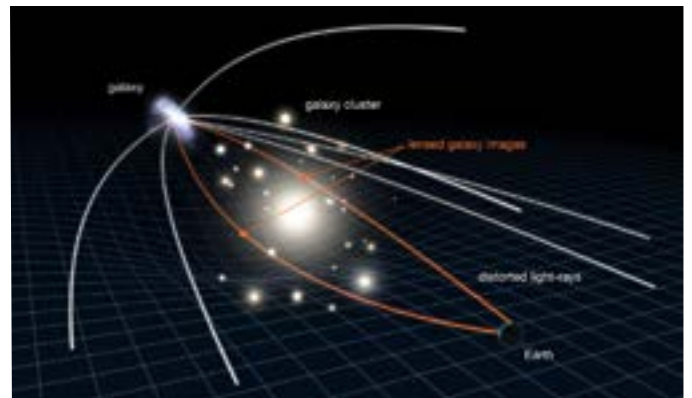


Figura 1: Fenómeno de lentes gravitacionais. Na imagem da esquerda, foi captado um “anel de relatividade” enquanto que na da direita está representada a distorção do espaço-tempo associada ao fenómeno [4].

dade de galáxias no aglomerado Coma [1].

Os seus resultados foram fascinantes, pois a matéria visível nestas galáxias não era suficiente para descrever o movimento observado. As galáxias deveriam afastar-se umas das outras.

Apenas uma massa muito superior à visível poderia explicar os seus resultados. Décadas mais tarde, Vera Rubin chegou a uma conclusão semelhante ao medir a rotação de galáxias [2]. A lei de Kepler estabelece a relação entre a velocidade e a distância para a rotação de corpos em torno de um centro de massa ($v \propto d^{-1/2}$). Ao observar que a velocidade se mantinha praticamente independente da distância, Rubin deduziu que a matéria observada na galáxia era apenas 10% da massa total que a compunha.

sivas fracamente interativas) [5] ou neutrinos estéreis [6]. Aqui, vamos focar-nos nos axiões e ALPs (partículas semelhantes a axiões).

O objeto de pesquisa

O axião foi proposto, em 1977, como solução para o problema da conservação da carga e paridade da cromodinâmica quântica [7], mas é considerado um bom candidato de matéria escura devido à sua estabilidade, pequena massa e raras interações. De forma semelhante, as ALPs também são bosões que resultam de uma quebra espontânea de simetria num campo unitário, porém não estão sujeitas às limitações dos axiões por estarem relacionados com a força nuclear forte [8].

Tendo em conta as fracas interações, a questão que se segue prende-se com a deteção destas partículas. A maior parte das experiências envolve a conversão das ALPs em fótons (através do processo de Primakoff [9]), que, apesar de raro, é favorecido em determinadas condições, como a existência de intensos campos eletromagnéticos. Assim, parte das experiências tenta reunir estas condições em laboratório, como é o caso das ALPS I e II [10] e da OSQAR [11]. Outras, procuram detectar ALPs onde estas condições já existam, como é o caso das estrelas. Nesta categoria destacou-se o CAST [12], a ser substituído pelo IAXO [13] nos próximos anos. A figura 2 realça a diferença entre estes dois métodos. Tendo em conta a vasta gama de possibilidades para a massa e coeficiente de interação destas partículas, existe um amplo domínio de combinações onde podem existir. Como consequência, foram levadas a cabo diferentes tipos de experiências, que tentam descobrir estas partículas, ou pelo menos, reduzir este domínio de possibilidades (ver Figura 3).

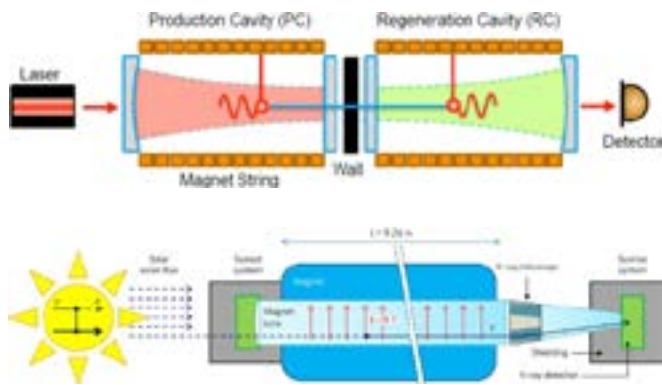


Figura 2: Esquema das experiências ALPS II [10] (imagem superior) e CAST [12] (imagem inferior). Na primeira, dois conjuntos de ímanes são utilizados para converter fótons em axiões (esquerda) e vice-versa (direita), garantindo que os fótons que não são convertidos são interceptados por uma parede opaca. Na segunda, existe apenas conversão de axiões produzidos no Sol em fótons de modo a serem detectados.

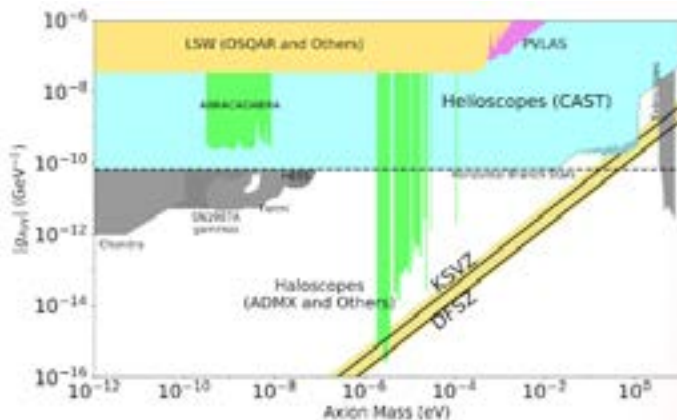


Figura 3: Diagrama de exclusão para as ALPs. Os eixos representam a massa e o coeficiente de interação com

os fótons. As regiões sombreadas representam a gama excluída pelas experiências, enquanto que as linhas KSVZ e DFSZ correspondem a modelos específicos dos axiões [8].

O laboratório

Uma outra abordagem, faz uso de simulações de estrelas, comparando o seu ciclo de vida e estrutura interna com e sem a presença destas partículas. Nestes casos, considera-se a produção de axiões e ALPs, a partir dos fótons no núcleo das estrelas, mediados pelos intensos campos eletromagnéticos que lá existem. Tendo em conta a sua estabilidade e pequena massa, uma vez produzidos, facilmente escapam da estrela, configurando um novo canal de perda de energia [8]. Assim, as condições no interior destas estrelas são alteradas de modo a compensar as perdas adicionais. Comparando o novo perfil e evolução da simulação estelar com observações, é possível limitar o domínio de possibilidades para a intensidade das interações destas partículas, pois a partir de um certo limite, as alterações impostas são tão intensas que os modelos construídos deixam de fazer sentido. Assim sendo, geralmente considera-se estrelas durante ou após a sua fase de expansão em gigantes vermelhas, uma vez que durante a fusão de Hélio as perdas de energia por axiões e ALPs são mais significativas, quando comparadas com as perdas através de neutrinos.

O método

Deste modo, quanto mais detalhadamente for conhecido o perfil de uma estrela, mais facilmente conseguimos caracterizar estas partículas. É nesta fase que entra a astrosismologia [14]. Da mesma forma que o estudo das ondas sísmicas nos permite estudar o interior do nosso planeta, também podemos estudar o interior das estrelas. Dependendo das suas características, uma estrela produz ondas sísmicas de diferentes frequências e que se propagam em diferentes regiões. Estas oscilações podem ser detectadas a partir das variações na sua luminosidade e até mesmo no seu raio (figura 4).

Neste contexto, não só é possível criar um diagrama de propagação para os modelos em que há produção de matéria escura, mas também podemos compará-lo com as frequências naturais de uma estrela real com as mesmas características. Adicionalmente, a astrosismologia também nos permite estudar em mais detalhe a região da estrela em que os axiões e ALPs vão ter mais impacto. De uma forma geral, o aparecimento desta técnica revolucionou completamente o ramo da astrofísica, proporcionando uma forma de estudar a dinâmica interior das estrelas, o que até então não era possível apenas com medidas como luminosidade e temperatura. Aqui, foi possível ver mais um dos avanços possíveis graças a esta ferramenta, que se estende até ao estudo da matéria escura, uma das questões fundamentais da física.

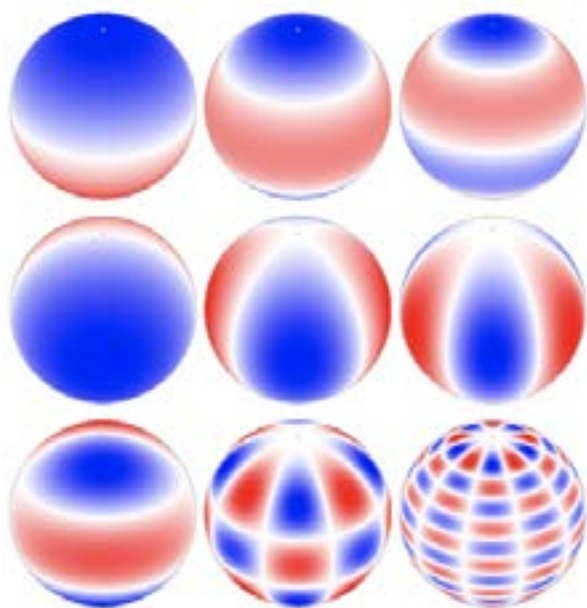


Figura 4: Exemplo de modos de oscilação nas estrelas. As regiões a vermelho e a azul representam as secções da estrela que contraem (e aquecem) e as que expandem (e arrefecem), respectivamente.

Referências:

- [1] F. Zwicky, "Die Rotverschiebung von extragalaktischen Nebeln," *Helvetica Physica Acta*, vol. 6, pp. 110–127, Jan. 1933
- [2] V. C. Rubin, "The Rotation of Spiral Galaxies," *Science*, vol. 220, no. 4604, pp. 1339–1344, Jun. 1983.
- [3] R. Massey, T. Kitching, and J. Richard, "The dark matter of gravitational lensing," *Reports on Progress in Physics*, vol. 73, no. 8, p. 086901, Aug. 2010.
- [4] <https://esahubble.org/wordbank/gravitational-lensing/>
- [5] G. Jungman, M. Kamionkowski, and K. Griest, "Supersymmetric dark matter," *Physics Reports*, vol. 267, pp. 195–373, Mar. 1996.
- [6] B. Dasgupta and J. Kopp, "Sterile neutrinos," *Physics Reports*, vol. 928, pp. 1–63, Sep. 2021.
- [7] R. D. Peccei and H. R. Quinn, "CP conservation in the presence of pseudoparticles," *Physical Review Letters*, vol. 38, no. 25, pp. 1440–1443, Jun. 1977.
- [8] Ringwald, L.J. Rosenberg and G. Rybka, 2020, "Axions and Other Similar Particles", Particle Data Group
- [9] G. G. Raffelt, Stars as laboratories for fundamental physics : the astrophysics of neutrinos, axions, and other weakly interacting particles, 1996.
- [10] M. Diaz Ortiz and 17 colleagues, "Design of the ALPS II Optical System," arXiv e-prints, p. arXiv:2009.14294, Sep. 2020.
- [11] R. Ballou and 15 colleagues, "New exclusion limits on scalar and pseudoscalar axionlike particles from light shining through a wall," *Physical Review D*, vol. 92, no. 9, p. 092002, Nov. 2015.
- [12] V. Anastassopoulos and 65 colleagues, "New CAST limit on the axion-photon interaction," *Nature Physics*, vol. 13, no. 6, pp. 584–590, Jun. 2017.
- [13] E. Armengaud and 90 colleagues, "Physics potential of the International Axion Observatory (IAXO)," *Journal of Cosmology and Astroparticle Physics*, vol. 2019, no. 6, p. 047, Jun. 2019.
- [14] C. Aerts, J. Christensen-Dalsgaard, and D. W. Kurtz, *Asteroseismology*, 2010.

Water Bottle Flipping

Giro de fazer, mais ainda de aprender

por António Oliveira, David Peixoto e Inês Mesquita

Vencedores do concurso PULSAR Jovens Investigadores

O *water bottle flipping* consiste no lançamento de uma garrafa parcialmente cheia de água, fazendo com que esta dê uma volta completa, em suspensão, e tenha uma aterragem estável.

Neste artigo, será explicada a física por detrás deste fenómeno, algo que à primeira vista parece fácil, mas cuja explicação é mais complexa do que aparenta!

Em 2016, um rapaz americano apresentou o lançamento de uma garrafa como a sua atuação num concurso de talentos. O vídeo desta atuação viralizou e o *water bottle flipping challenge* ganhou fama mundial, tendo, desde aí, sido praticado por milhões de pessoas em todo o mundo.

Neste artigo, pretende-se efetuar uma explicação e análise do movimento da garrafa de água durante este fenómeno, sendo o objetivo principal determinar a fração ótima de água necessária para que haja a maior probabilidade possível de se obter uma aterragem bem sucedida.

De modo a analisar este movimento, foi realizada uma atividade experimental, na qual se procedeu ao lançamen-

to de uma garrafa de água e de um tubo com bolas de ténis, tendo-se filmado ambos. Este último foi utilizado com o intuito de se obter uma visualização mais clara e simples do fenómeno que ocorre nas partículas que se situam no interior da garrafa, durante o movimento rotacional.

Posteriormente, os resultados foram interpretados e comparados com os deduzidos teoricamente.

Para a análise de resultados recorreu-se ao *software open source* de análise de vídeo *tracker* e ao *software open source* *scilab* para suavização das curvas dos gráficos obtidos.

> SÍNTESE TEÓRICA

Para que se possa analisar o movimento da garrafa, é primeiro necessário ter algumas noções teóricas importantes e admitir que certos aspetos podem ser simplificados de modo a que a sua análise fique facilitada.

O movimento em causa pode ser decomposto numa translação do centro de massa, CM, e num movimento de

rotação em torno do mesmo.

Ambos os corpos considerados neste artigo têm um conteúdo cujo caráter é extensível. Como tal, ocorre uma variação da sua distribuição mássica ao longo do movimento, sendo esta inerente à tendência a uniformizar o mais possível a sua distribuição pelo espaço disponível. Tal fenómeno ocorre devido à propensão que os corpos em rotação têm de atingir o maior momento de inércia, I , possível.

Atendendo à dinâmica de extensão do conteúdo, o que obriga à consideração da movimentação das partículas que o constituem dentro de uma região do espaço, é perceptível que durante o movimento ocorre uma variação da posição do CM do sistema.

Neste sistema, não é exercida nenhuma força externa, além da força gravítica (constante ao longo do movimento e aplicada no centro de massa do corpo), o que faz com que o corpo não adquira torque. Assim sendo, existe conservação do momento angular, L , o que é uma consideração crucial para o estudo deste movimento.

Desta forma, é possível determinar L_0 pela relação $L_0 = I\omega$, onde L_0 é o valor da componente escalar do momento angular inicial do corpo e ω é o valor da componente escalar da velocidade angular do corpo. Conclui-se, pelo facto de L ser constante, que, ao ocorrer o aumento do momento de inércia do corpo, resultante da variação do CM do sistema, ocorre uma diminuição da velocidade angular.

Como a física do *sloshing* da água, isto é, a maneira como

esta se distribui pela garrafa, ao longo da experiência, é extremamente complexa, recorreu-se a um modelo mais apropriado para a análise da dinâmica do movimento, pela sua semelhança e simplicidade: o modelo do *tennis bottle flipping*. O modelo consiste na realização do mesmo tipo de movimento que acontece com a garrafa de água mas com recurso a duas bolas de ténis contidas no interior de um tubo.

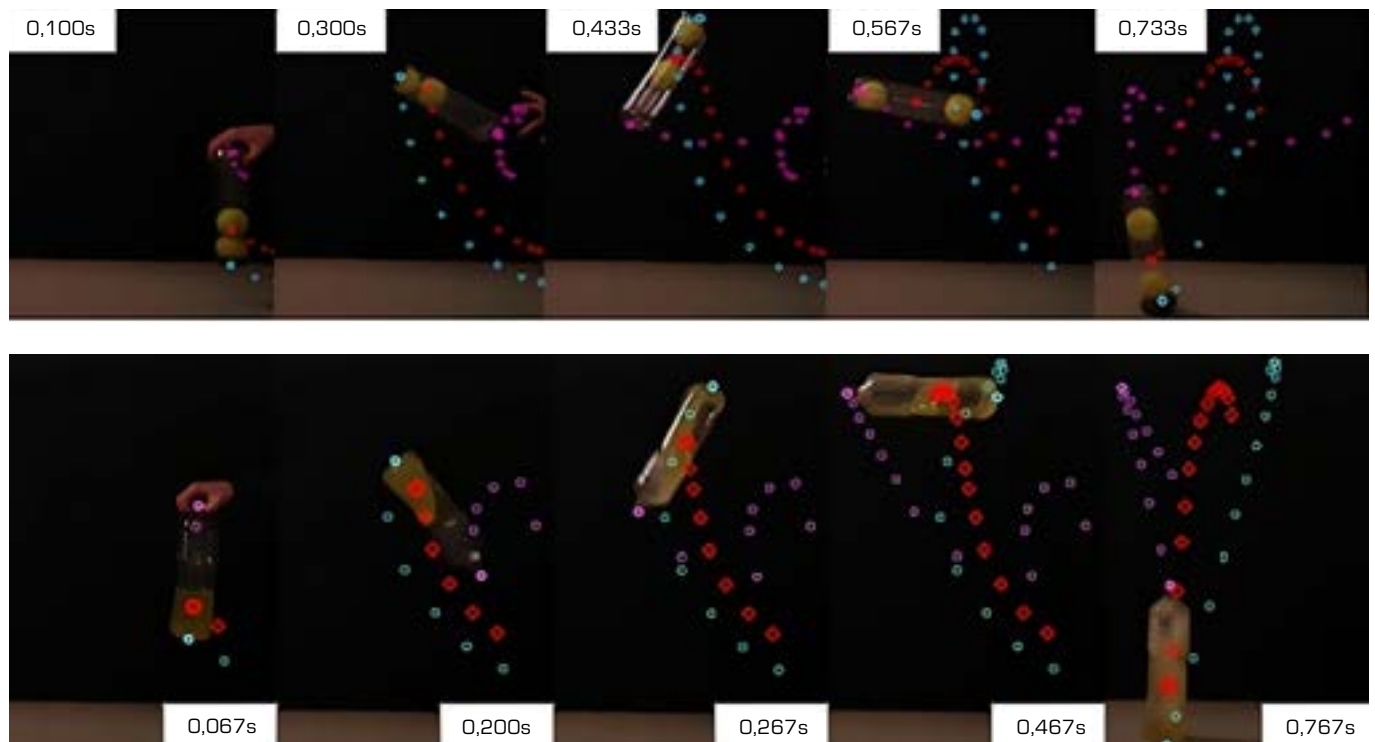
> PROCEDIMENTO

O material utilizado na experiência consistiu em: uma garrafa de capacidade 1,5L, cheia com água até 39% (0,585L) da capacidade da mesma, com $H = (31,00 \pm 0,05)$ cm, sendo H a sua altura; corante amarelo; duas bolas de ténis com $R = (30,98 \pm 0,01)$ mm cada uma, sendo R o raio destas; o respetivo tubo de bolas, com $H = (28,00 \pm 0,05)$ cm; um plano de fundo escuro, e um smartphone com câmara.

Foram feitos diversos lançamentos, dos quais cinco com sucesso para ambas as garrafas, tendo sido posteriormente escolhidos para análise aqueles que consagraram as melhores aterragens. O corante amarelo foi utilizado com o intuito de conseguir uma melhor visualização da água, em cada instante, para recolha dos dados.

Os lançamentos foram gravados com uma resolução de 4K, a 30 frames por segundo com um tempo de obturador de $1/180$ s. Estes foram todos realizados pela mesma pessoa, pelo que o modo como os lançamentos foram efetuados foi o mais semelhante possível.

Figura 1: Imagens estroboscópicas do movimento do tubo de bolas de ténis (em cima) e do movimento da garrafa de água (em baixo), com os instantes referentes a cada imagem. Na imagem a movimentação da extremidade superior dos recipientes é representada pelas marcações a lilás, a movimentação da extremidade inferior é representada pelas marcações azuis e o centro de massa dos sistemas pelas marcações a vermelho.



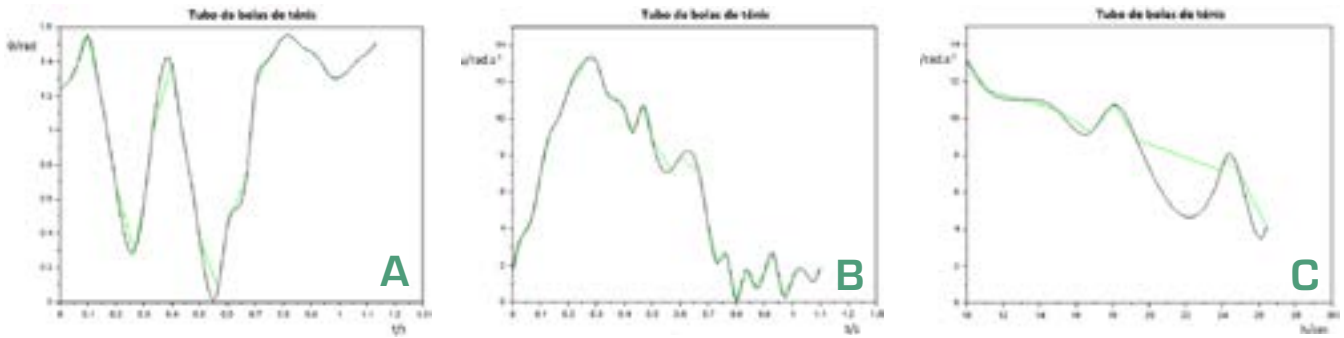


Figura 2: Gráficos relativos ao tubo de bolas de tênis: (a) Variação do ângulo de inclinação, θ , em função do tempo, t ; (b) Variação da velocidade angular, Ω , em função do tempo, t ; (c) Variação da velocidade angular, Ω , em função da altura máxima da bola de tênis superior, h .

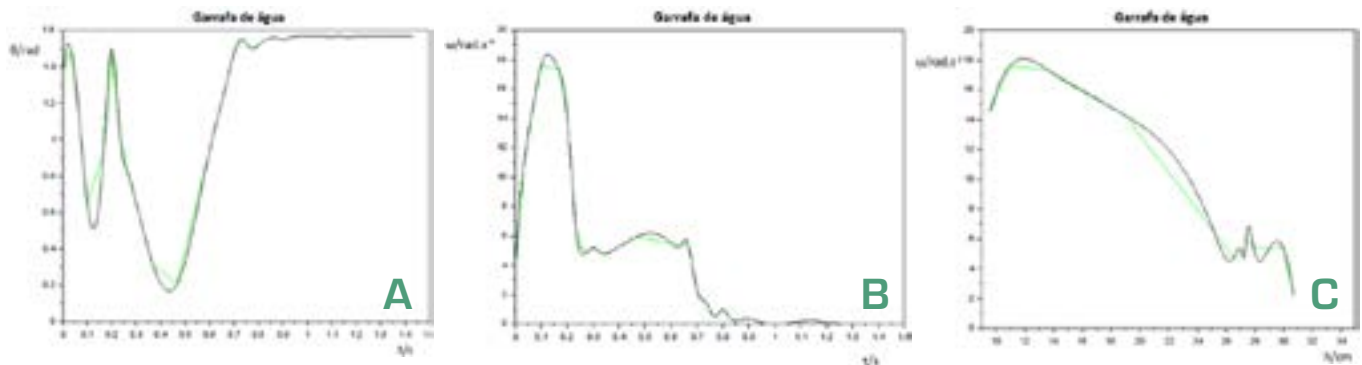


Figura 3: Gráficos relativos à garrafa de água: (a) Variação do ângulo de inclinação, θ , em função do tempo, t ; (b) Variação da velocidade angular, ω , em função do tempo, t ; (c) Variação da velocidade angular, ω , em função da altura máxima da bola de tênis superior, h .

No lançamento do tubo de bolas de tênis, foi utilizada como base de aterragem a tampa do mesmo, uma vez que a extremidade oposta apresentava uma estrutura curva, o que dificultaria a sua aterragem.

Relativamente aos lançamentos selecionados, foram recolhidos grupos de dados experimentais referentes a: posição da extremidade superior da(o) garrafa/tubo (tendo como referência a sua tampa, no caso da garrafa); posição da base da(o) garrafa/tubo e posição da altura máxima do conteúdo no interior do respetivo recipiente.

No lançamento do tubo de bolas de tênis, foi obtido um conjunto de 34 grupos de dados relativos às posições deste em função do tempo, sendo que devido às condições de filmagem, foram excluídos quatro destes, de modo a se obter um conjunto de dados para análise com o menor ruído possível [considera-se como ruído o conjunto de dados que apresenta grande discrepância relativamente aos dados existentes num certo intervalo], sem, no entanto, comprometer a fidelidade dos resultados.

Do mesmo modo, no lançamento da garrafa de água foram obtidos 44 grupos de dados, relativos aos mesmos elementos, tendo-se desprezado seis dos grupos de dados adquiridos.

Na figura 1 estão representados os gráficos das trajetórias obtidas, tanto para a garrafa com água, como para o tubo com bolas, relativamente ao centro de massa (trajetória a vermelho).

É possível, em ambos os casos, considerar os corpos como estando em queda livre, ou seja, sendo projéteis

- corpos onde apenas atua a força gravítica como força externa.

Logo, a trajetória associada ao movimento de queda livre é parabólica, o que coincide aproximadamente com o representado na figura 1.

Os grupos de dados experimentais obtidos foram compilados nos gráficos das figuras 2 e 3.

Como se pode observar na figura 2(b), apesar de ter sido registado um aumento na velocidade angular do tubo de bolas nos primeiros instantes, devido à força exercida pela mão, dá-se posteriormente um decréscimo acentuado, tal como previsto, uma vez que tal período corresponde ao aumento do momento de inércia.

Do mesmo modo, observa-se no gráfico 2(c) que a um aumento de h , corresponde, do mesmo modo, a diminuição da velocidade angular do corpo, uma vez que quanto mais próximo $h/2$ se encontrar de $H/2$, maior será o momento de inércia do corpo em questão.

Tal como esperado, os gráficos tanto do tubo com bolas, como da garrafa com água são bastante semelhantes, dado que ambos (figura 2(a) e figura 3(a)) apresentam duas oscilações acentuadas, que correspondem ao movimento de rotação do objeto em questão, bem como um decréscimo acentuado da velocidade angular em função do tempo (figura 2(b) e figura 3(b)), e o mesmo tipo de comportamento da velocidade angular, em função da altura máxima do conteúdo do recipiente como se pode verificar nos gráficos figura 2(c) e figura 3(c).

Centro de massa da garrafa de água

Primeiramente, definir-se-á o centro de massa da garrafa com água.

Para tal, considerar-se-á a garrafa como sendo um cilindro oco, com raio R, altura H e massa m_g . Assumindo que o cilindro é simétrico e uniforme, a altura do seu centro de massa é dado por $H/2$.

Relativamente à água, com o intuito de simplificar as contas, considerou-se um modelo simplificado unidimensional, no qual a massa da água, m_a , se distribui uniformemente ao longo da garrafa. Sendo h a altura máxima da água num certo instante, conclui-se que a altura do centro de massa da água é $h/2$.

Logo, a altura do centro de massa do sistema garrafa + água, é dada por:

$$h_{CM} = \frac{\frac{H}{2}m_g + \frac{h}{2}m_a}{m_g + m_a}$$

Momento de Inércia

De seguida, calcular-se-á o momento de inércia do sistema, que consiste na soma dos momentos de inércia da garrafa e da água ($I = I_g + I_a$).

Utilizando o teorema dos eixos paralelos ($I = I_{CM} + md^2$), sendo m a massa do corpo e d a distância entre os dois eixos transversais, concluiu-se que o momento inercial da garrafa é:

$$I_g = I_0 + m_g \left(\frac{H}{2} - h_{CM} \right)^2$$

Sendo o primeiro termo, I_0 , o momento de inércia da garrafa relativamente ao eixo que passa pelo centro de massa desta, e o segundo termo que considera a distância entre o eixo do centro de massa da garrafa, localizado aproximadamente a $H/2$ e o eixo do centro de massa do sistema, localizado a h_{CM} .

De seguida, para calcular o momento de inércia da água, de maneira semelhante, obtém-se:

$$I_a = I_0 + m_a \left(\frac{h}{2} - h_{CM} \right)^2$$

Sendo o primeiro termo, I_0 , o momento de inércia da água relativamente ao eixo que passa pelo centro de massa desta, e o segundo termo que considera a distância entre o eixo do centro de massa da água, localizado aproximadamente a $h/2$ e o eixo do centro de massa do sistema, localizado a h_{CM} . Considerando a garrafa como sendo um cilindro, cuja massa se localiza uniformemente

ao longo do eixo, e admitindo um modelo unidimensional da água, desprezando assim as outras duas dimensões, é possível admitir que o momento de inércia da garrafa e da água são $I_0 = m_g H^2 / 12$ e $I_0 = m_a h^2 / 12$, respetivamente.

Assim, o momento de inércia total é dado por:

$$\begin{aligned} I &= I_g + I_a \\ &= \frac{1}{12}m_g H^2 + m_g \left(\frac{H}{2} - h_{CM} \right)^2 + \\ &+ \frac{1}{12}m_a h^2 + m_a \left(\frac{h}{2} - h_{CM} \right)^2 \\ &= \frac{1}{12} (m_g H^2 + m_a h^2) + \\ &+ m_g \left(\frac{H}{2} - h_{CM} \right)^2 + m_a \left(\frac{h}{2} - h_{CM} \right)^2 \end{aligned}$$

Fração ótima da água

A fração ótima de água na garrafa dá-se quando a velocidade angular é mínima, ou seja, quando o rácio da velocidade angular inicial e da velocidade angular num certo instante é máxima, ou seja, quando a o quociente do momento de inércia inicial sobre o momento de inércia final é mínimo.

Assim, segundo o artigo “Water Bottle Flipping Physics in American Journal of Physics · December 2017”, conclui-se que a fração ótima de água na garrafa (f) é de aproximadamente 20% a 40%. Tal resultado é consistente com os dados encontrados na internet, que alegam que a fração de água ideal da garrafa é de 30%.

> CONCLUSÃO

Em suma, foi explicado o tão famoso Water Bottle Flipping, à luz da física, sendo um excelente exemplo prático da importância da redistribuição mássica para, neste caso, a aterragem da garrafa de água. Existem muitos outros casos onde este conceito é base do sucesso dos mesmos, tal como acontece na patinagem artística, em que os patinadores encolhem os braços e as pernas, o máximo possível. Com isto, aumentam a sua velocidade rotacional, pela diminuição do seu momento inercial e... voilá.

Importa também referir que, apesar de terem sido feitas algumas aproximações e tendo em conta considerações pouco precisas em relação à forma das garrafas e, principalmente, do modelo utilizado para a água, os resultados obtidos coincidiram com o expectável, sendo que os pressupostos teóricos em torno dos quais a experiência se baseia foram verificados.

Referências:

[1] Water Bottle Flipping Physics, Article in American Journal of Physics · December 2017



Pelas Estradas Escondidas do Cérebro

Explorando as redes microvasculares cerebrais

por Francisca Paiva

Alumna de LEFT e aluna de 1º ano do mestrado em Biofísica na KU Leuven

Embara o cérebro constitua apenas ~2% da massa corporal total, consome cerca de 20% da sua produção de energia em repouso.

Para alimentar esta alta demanda metabólica, é necessário um fluxo sanguíneo constante, que é garantido por uma rede vascular tridimensional penetrante composta por arteríolas, vénulas e capilares, fornecendo oxigénio e metabólitos quando necessário, além de eliminar prontamente os resíduos [1].

Na Figura 1, podemos observar um conjunto de dados vetorizados obtidos por Blinder et al. [2] em toda a profundidade do córtex de um rato adulto. Trata-se de uma grande rede vascular, composta por 33399 vasos, irrigando um volume de aproximadamente 1 mm³.

Pressão de oxigénio e fluxo sanguíneo

Podemos definir uma rede microvascular como um conjunto de arestas, ou fios, numerados de 1 a n , encontrando-se em pontos denominados vértices, ou nós [3], por sua vez, numerados de 1 a N . Cada aresta é caracterizada pelo seu raio e comprimento, formando os vetores R e L , onde cada entrada i corresponde ao raio ou comprimento do vaso i , respetivamente. Ao aproximar cada vaso a um tubo cilíndrico rígido de secção transversal constante, a sua resistência ao fluxo, denotada ρ_i , pode ser estimada em termos de L_i e R_i a partir da lei de Hagen-Poiseuille para fluidos incompressíveis e newtonianos em fluxo laminar:

$$\rho_i = \frac{4\eta_{water}}{\pi} \cdot \frac{L_i}{R_i^4} \cdot \xi \quad (1)$$

onde $4\eta_{water} \approx 0,004$ Pa·s é uma aproximação para a viscosidade do sangue, que assumimos ser constante, embora possa ter uma pequena dependência do raio e do hematócrito, i.e., o volume ocupado pelos eritrócitos, segundo o efeito de Fåhræus-Lindqvist. De facto, a viscosidade do sangue tende a diminuir à medida que o diâmetro do vaso diminui (em vasos com menos de 0,3 mm de diâmetro), devido ao transporte de eritrócitos ao longo de uma camada central cercada por uma camada anular de plasma livre de eritrócitos [4].

Além disso, não consideramos neste modelo a partição não uniforme do hematócrito nas bifurcações dos vasos com diferentes diâmetros, pois esse fenómeno é menos relevante em comparação com a suposição de que os vasos são tubos cilíndricos rígidos.

Usando esta aproximação de Hagen-Poiseuille, o caudal em cada vaso pode ser calculado seguindo uma analogia com um circuito elétrico, onde as pressões são análogas aos potenciais e os caudais às correntes elétricas. Esta aproximação pode ser melhorada considerando as propriedades elásticas dos vasos sanguíneos, que permitem que estes se expandam quando o coração bate e se contraíam quando o sangue é libertado. Cada vaso poderia, portanto, ser representado como uma resistência ligada em paralelo a um condensador, por forma a considerar a elasticidade dos vasos que lhes permite armazenar grandes quantidades de sangue, e em série com um indutor, para incluir o efeito da aceleração do fluxo devido à sua inércia [5] [6].

Não obstante, uma vez que pretendemos determinar apenas uma irrigação média dos vasos da nossa rede microvascular, podemos considerar o modelo simplificado, em que o fluxo sanguíneo não varia ao longo do mesmo vaso e as arestas são simplesmente representadas por resistências, contemplando apenas a dissipação dentro dos vasos.

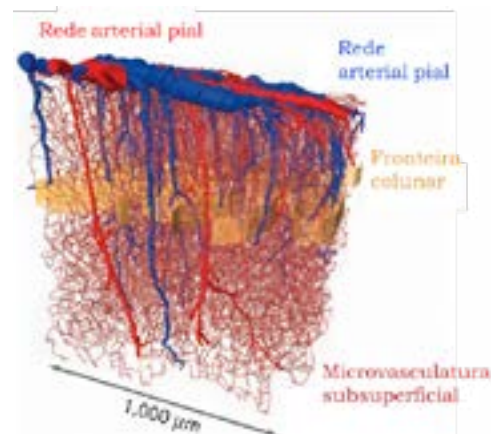
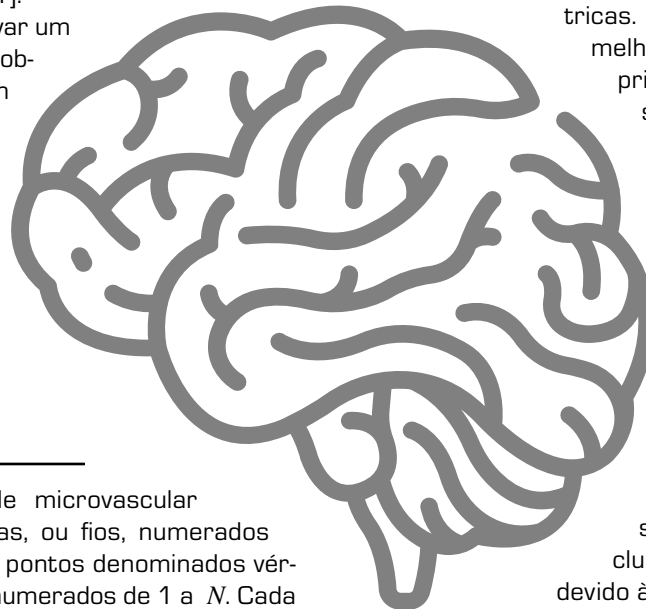


Figura 1: Mapa de uma rede cerebrovascular vetorizada de um rato adulto, obtido por Blinder et al. [3].

Assim, o caudal, Q_i , em cada vaso pode ser calculado a partir das resistências e das pressões nodais de entrada e saída, P_i^{out} e P_i^{in} , satisfazendo a lei de Ohm:

$$Q_i = \frac{P_i^{out} - P_i^{in}}{\rho_i} \quad (2)$$

Para calcular a pressão de cada vértice, usamos um análogo da lei de Kirchhoff para nós, onde a soma das correntes em cada nó deve ser zero, descrevendo a conservação da massa. Dado um nó i , podemos usar a equação 2 para escrever:

$$\sum_{j=1}^N \frac{P_i - P_j}{\rho_{ij}} A_{ij} = 0 \quad (3)$$

onde A é a matriz dos nós adjacentes, definida de modo a que uma entrada ij seja 1 caso os nós i e j estejam ligados por pelo menos uma aresta e 0 caso contrário. ρ_{ij} é a resistência equivalente do conjunto de arestas que ligam os nós i e j , que, por sua vez, verifica:

$$\frac{1}{\rho_{ij}} = \sum_{k \in E_{ij}} \frac{1}{\rho_k} \quad (4)$$

onde E_{ij} representa o conjunto de arestas que conectam os nós i e j .

Em aplicações reais, diferentes condições fronteira podem ser consideradas, como, por exemplo, uma restrição de pressão fixa. Neste caso, podemos escrever um sistema de equações lineares para pressões nodais, obtendo a matriz de coeficientes, M , que assume a forma:

$$\begin{cases} \sum_{k \neq i} \frac{A_{ik}}{\rho_{ik}}, & \text{if } i \notin \Omega \text{ and } i = j \\ -\frac{A_{ij}}{\rho_{ij}}, & \text{if } i \notin \Omega \text{ and } i \neq j \\ \delta_{ij}, & \text{if } i \in \Omega \end{cases} \quad (5)$$

onde δ_{ij} é o delta Kronecker, cujo valor é 1 quando $i=j$ e 0 caso contrário. $\Omega = \Omega_{in} \cup \Omega_{out}$ é o conjunto de nós de entrada e de saída, para os quais as pressões são conhecidas e iguais a P_{in} para nós $\in \Omega_{in}$ e P_{out} para nós $\in \Omega_{out}$. As pressões em cada nó são então calculadas resolvendo o sistema:

$$\sum_{j=1}^N = \begin{cases} 0, & \text{if } i \notin \Omega \\ P_{in}, & \text{if } i \in \Omega_{in} \\ P_{out}, & \text{if } i \in \Omega_{out} \end{cases} \quad (6)$$

O caudal em cada vaso é finalmente obtido através da equação 2.

Por forma a demonstrar como este modelo pode ser usado para descrever redes cerebrovasculares, simulamos as propriedades da rede da Figura 1, usando um código em MATLAB. Os resultados apresentados em seguida correspondem a uma fração da rede total, localizada num dos seus oitavos superiores, considerando $P_{in} = 70$ mmHg e $P_{out} = 40$ mmHg.

A Figura 2 consiste numa representação dos vasos da nossa rede microvascular com cores indicando o logaritmo do caudal ($\mu\text{l/s}$) através deles. Todos os vasos estão

representados com o mesmo diâmetro para obter um resultado mais claro. Conseguimos identificar na figura uma região da rede onde os vasos têm um caudal significativamente maior que os restantes. Comparando com a Figura 1, podemos identificar esta zona como sendo a parte superior da rede, onde existe um maior número de arteríolas e vénulas de maior diâmetro. Sendo a corrente proporcional à quarta potência do raio dos vasos, é lógico que esses vasos tenham um maior caudal.

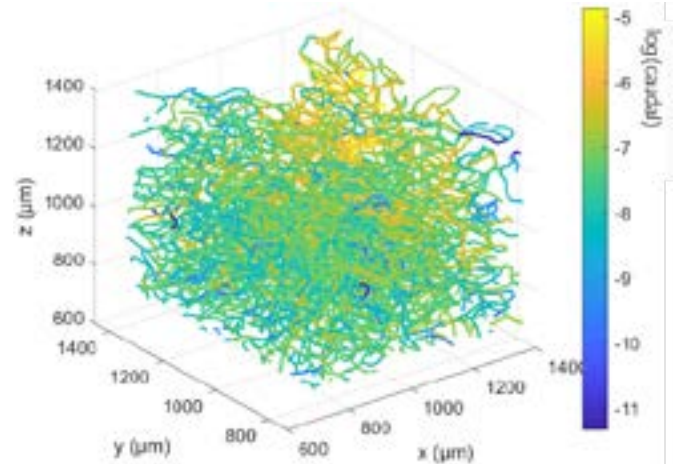


Figura 2: Representação do caudal em cada vaso da seção selecionada da rede microvascular.

Oxigenação dos Tecidos

Os tecidos consumidores de oxigénio são compostos por células, matriz extracelular e fluido extracelular [7]. Embora o transporte de oxigénio nos tecidos seja predominantemente dependente da difusão, pode ser descrito por vários princípios físicos.

Para compensar a sua baixa solubilidade, o oxigénio nos mamíferos é ligado à hemoglobina, por sua vez, acondicionada nos eritrócitos. A difusão passiva de eritrócitos oxigenados do sangue capilar para o tecido é determinada pela permeabilidade da parede vascular e impulsionada por gradientes de pressão parcial de oxigénio dos vasos para o tecido, que resultam do equilíbrio entre a oferta e o consumo de oxigénio [8].

Consequentemente, quanto maior a pressão de oxigénio no sangue, mais oxigénio será descarregado dos eritrócitos e mais oxigenado o sangue se tornará. Ademais, um aumento do fluxo sanguíneo, por exemplo, em consequência da vasodilatação, resultará no aumento da permeabilidade vascular, permitindo a oxigenação do tecido. A fonte de oxigénio pode, portanto, ser qualitativamente definida como um campo f , que assume valores diferentes de zero nos locais onde existem vasos e é proporcional ao produto do caudal e pressão média na aresta correspondente:

$$f(x, y, z) \propto Q(x, y, z) \frac{P_{in}(x, y, z) + P_{out}(x, y, z)}{2} \quad (7)$$

onde $Q(x, y, z)$, $P_{in}(x, y, z)$ e $P_{out}(x, y, z)$ são, respetivamente, o caudal e as pressões de entrada e de saída no vaso passando na posição (x, y, z) . Neste modelo, assumimos que a

constante de proporcionalidade é, para simplificar, o coeficiente de difusão do oxigénio (ver abaixo).

Para determinar a irrigação do tecido cerebral, consideramos um modelo de reação-difusão para reproduzir a interação em estado estacionário entre uma fonte de oxigénio, neste caso, os vasos da nossa rede microvascular, e as células por eles percorridas. A irrigação, ou concentração de oxigénio, I , no tecido, deve então satisfazer a seguinte relação, de acordo com o fornecimento de oxigénio, f :

$$D\nabla^2 I - \gamma I + f = 0 \quad (8)$$

O primeiro termo da equação corresponde à difusão de oxigénio, relacionada com o coeficiente de difusão, D , enquanto no segundo, γ representa o consumo de oxigénio pelo tecido.

Dividindo todos os termos da equação por D , e estabelecendo a relação $d = \sqrt{D/\gamma}$, onde d corresponde ao comprimento de difusão, obtemos:

$$\nabla^2 I - \frac{I}{d^2} + g = 0 \quad (9)$$

onde $g = f/D$.

Embora a concentração de oxigénio possua uma dependência não linear das características de ligação ao oxigénio da hemoglobina, assumimos, para simplificar, uma dependência linear da pressão, definindo os níveis de oxigénio no tecido como O .

Para resolver equações diferenciais parciais semi-lineares como a descrita em 9, podemos recorrer a Transformadas de Fourier.

Posto isto, aplicando uma Transformada de Fourier à equação 9, obtemos:

$$-k^2 \mathcal{F}\{I\} - \frac{\mathcal{F}\{I\}}{d^2} + \mathcal{F}\{g\} = 0 \quad (10)$$

onde $k = \sqrt{k_x^2 + k_y^2 + k_z^2}$ é o número da onda em 3 dimensões. Impondo condições fronteira periódicas ao sistema, os valores de k_x em cada ponto de qualquer função tridimensional resultante definida numa matriz satisfazem:

$$k_{xj} = \begin{cases} (j-1)\frac{2\pi}{l_x}, & \text{if } 1 \leq j \leq \frac{n_x}{2} + 1 \\ (j-n_x-1)\frac{2\pi}{l_x}, & \text{if } \frac{n_x}{2} + 2 \leq j \leq n_x \end{cases} \quad (11)$$

onde n_x e l_x correspondem, respetivamente, ao número de pontos e comprimento na direção x . Os valores de k_y e k_z satisfazem condições análogas.

Para determinar a irrigação, resolvemos a equação 10 para $\mathcal{F}\{I\}$ e calculamos a transformada de Fourier inversa, obtendo assim:

$$I = \mathcal{F}^{-1} \left\{ \frac{\mathcal{F}\{g\}}{k^2 + \frac{1}{d^2}} \right\} \quad (12)$$

Recorrendo a este modelo, podemos analisar a densidade de oxigénio em secções da rede microvascular previamente descrita, de modo a visualizar a sua distribuição no tecido, considerando $d = 20 \mu\text{m}$. Na Figura 3, correspondente a um corte transversal ao eixo dos xx , conseguimos identi-

ficar regiões amareladas com maior concentração de O_2 e de formato aproximadamente circular, que devem corresponder a vasos sanguíneos transversais ao corte. Ademais, notamos áreas de maior concentração com formato de vasos, correspondendo a vasos aproximadamente tangentes ao plano do corte.

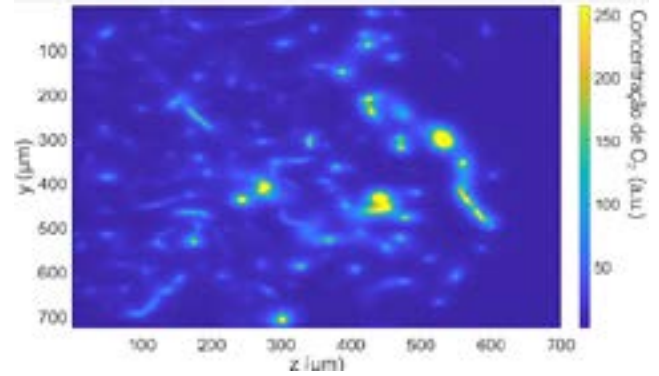


Figura 3: Concentração de O_2 no tecido numa secção transversal ao eixo dos xx .

Devido ao papel dos vasos sanguíneos como fonte de oxigénio, observamos uma maior concentração de O_2 nas suas imediações. Estes gráficos são de grande importância, uma vez que, dada uma rede sanguínea, facilitam a identificação de regiões de hipóxia, correspondentes às regiões mais escuras, onde a concentração de O_2 é substancialmente menor.

Este modelo permite-nos, também, efetuar outro tipo de análises, como, por exemplo, simular o efeito da perda vascular localizada na função de diferentes vasos – no fundo, torná-los incapazes de irrigar o tecido –, considerando vasos de diferentes diâmetros.

Para realizar este estudo, bloqueámos 10 vasos aleatórios para cada diâmetro, definindo a sua resistência como infinita. Recalculando o caudal e a irrigação após o bloqueio de cada vaso, obtivemos o gráfico da Figura 4, que retrata a tendência de diminuição da concentração média de O_2 com o aumento do diâmetro do vaso bloqueado.

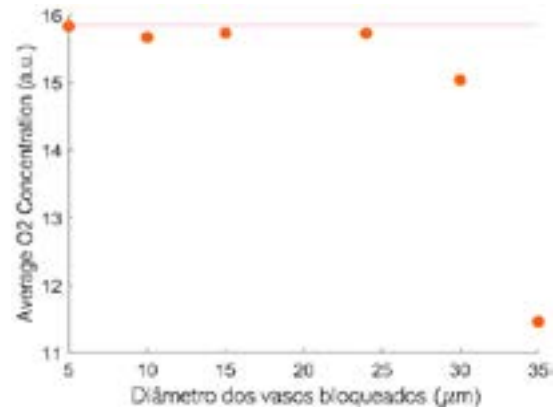


Figura 4: Concentração média de O_2 no tecido em função do diâmetro de 10 vasos bloqueados. A linha de referência corresponde à concentração média regular de O_2 no tecido.

Isto é um indicador de que os vasos sanguíneos de maior diâmetro têm maior contribuição para a oxigenação dos tecidos, uma vez que distribuem o sangue

pelos vasos menores. Contudo, apesar de terem uma contribuição menor por vaso, os vasos de menor diâmetro existem em muito maior número e estão dispersos por uma região maior, permitindo a distribuição de oxigénio num maior volume de tecido.

Embora existam métodos mais exaustivos para descrever a dinâmica da rede vascular, resolvendo, por exemplo, a equação completa de Navier-Stokes, o modelo aqui apresentado, que trata o transporte de O_2 para os tecidos como um processo difusivo, captura os elementos-chave dos processos envolvidos, permitindo simular sinais hemodinâmicos na vasculatura cerebral e melhor interpretar dados de imagem.

Referências:

[1] Coelho-Santos, V. and Shih, A. Y. Postnatal development of cerebrovascular structure and the neuroglivascular unit. *Wiley Interdiscip Rev Dev Biol*, 9(2):e363, 2020.

[2] Blinder, P., Tsai, P., and Kaufhold, J. The cortical angiome: an interconnected vascular network with noncolumnar patterns of blood flow. *Nat Neurosci*, 16:889–897, 2013.

[3] Secomb, T. W. et al. Angiogenesis: An adaptive dynamic biological patterning problem. *PLoS Comput Biol*, 9(3):e1002983, 2013.

[4] Ascolese, M., Farina, A., and Fasano, A. The fähræus-lindqvist effect in small blood vessels: how does it help the heart? *J Biol Phys*, 45: 379–394, 2019.

[5] Olufsen, M. S. and Nadim, A. On deriving lumped models for blood flow and pressure in the systemic arteries. *Mathematical Biosciences Engineering*, 1(1):61–80, 2004.

[6] Ghasemalizadeh, O. et al. Exact modeling of cardiovascular system using lumped method. *BIOCOMP 2008*, 2004.

[7] Lu, Y., Hu, D., and Ying, W. A fast numerical method for oxygen supply in tissue with complex blood vessel network. *PLOS ONE*, 16(2): e0247641, 2021.

[8] ALqahtani, R. A. A computational model relating tissue oxygen consumption to oxygen delivery in a Krogh cylinder model of skeletal muscle. 2021.

[9] Paiva, F. Modeling Neurovascular Coupling in Neonatal Brain Vascular Networks. 2022.

Entrevista acerca do livro

“A Física de Partículas em Portugal Origem e Desenvolvimento”

a dois dos autores: **Gustavo Castelo Branco e Margarida Nesbitt Rebelo**

Investigadores na área da Física de Partículas pelo CFTP

O Centro de Física Teórica de Partículas (CFTP) do Departamento de Física do Instituto Superior Técnico é um renomeado centro de investigação dedicado ao estudo avançado da física de partículas e das teorias fundamentais que governam o nosso universo e colabora com grupos teóricos e experimentais no LIP e no CERN, promovendo um ambiente de pesquisa interdisciplinar.

No dia 23 de março de 2023, deu-se a sessão de lançamento do novo livro “A Física de Partículas em Portugal - Origem e Desenvolvimento”, escrito pelos investigadores Gustavo Castelo-Branco e Margarida Nesbitt Rebelo, do CFTP, e João Varela, do LIP. Este livro descreve as suas experiências no campo da Física de Partículas em Portugal desde a sua origem, contribuindo então para a história deste campo da física.

Perguntas e respostas

De onde surgiu a ideia para a escrita de “A Física de Partículas em Portugal - Origem e Desenvolvimento” e quais foram as maiores dificuldades encontradas ao escrever o livro?

Resposta:

> Começámos a pensar no livro há mais de 5 anos. À medida que o projeto do livro ia avançando, íamos percebendo que era necessário adaptar o plano do livro de forma a que

este não ultrapassasse cerca de 300 páginas, o que foi considerado como a dimensão ideal. Houve assim textos que acabaram por não ser incluídos e planos que foram abandonados. Foi também necessário harmonizar as contribuições dos 3 autores, o que também leva o seu tempo e teve que ser muito bem pensado.

> Embora estivéssemos muito entusiasmados com este projeto, todos os autores tinham muitas atividades a decorrer em paralelo ligadas ao seu trabalho do dia a dia. O tempo era sempre curto. Houve momentos em que a escrita avançou mais rapidamente que noutros. Inicialmente tínhamos um plano muito ambicioso. O livro está estruturado em 3 partes: primeiro uma introdução à Física de Partículas, depois a descrição de como evoluiu a criação de grupos de investigação em Portugal competitivos no nosso domínio, tanto a nível nacional como internacional. Finalmente o livro inclui uma descrição autobiográfica de cada autor a fim de dar uma ideia ao leitor do que é ser físico de partículas hoje e como era no período inicial, há mais de 40 anos. Tivemos de encurtar significativamente a primeira parte para a qual felizmente existem boas referências bibliográficas.

> A ideia do livro surgiu primeiro na cabeça dos 2 Físicos Teóricos. Apercebemo-nos de que havia factos que só nós e os colegas dos nossos tempos, com quem vivemos experiências comuns, sabíamos contar e que, se isso não fosse feito, muita informação acerca da génese do nosso

domínio de investigação em Portugal seria perdida. Precisávamos também de input do mundo da Física Experimental com o qual não estamos intimamente familiarizados. Foi assim que o Gustavo pensou em convidarmos o João para participar neste projeto. Tivemos uma primeira reunião com o João, no CERN, numa visita nossa à Divisão Teórica. O João estava lá a trabalhar no CMS e pediu alguns dias para pensar na nossa proposta. Entretanto entregámo-lhe um esqueleto preliminar do que podia ser o livro. O João rapidamente se entusiasmou com a ideia e de regresso a Lisboa, pouco tempo depois, nós os dois tivemos uma reunião com a Gradiva onde apresentámos a ideia dos 3 autores. A Gradiva mostrou desde o início interesse no nosso projeto de livro e deixou-nos tomar o nosso tempo a escrevê-lo. É importante frisar que este livro não foi escrito por historiadores de ciência mas relata factos e dá algumas fontes que pensamos que poderão vir a ser úteis para a história do nosso domínio. Há uma preocupação de rigor nos factos que relatamos. Muito ficou ainda por contar.

O livro relata a evolução da Física de Partículas em Portugal até aos dias de hoje. Quais são as perspetivas para o futuro desta área?

Resposta:

> Pensamos que as perspetivas de futuro para a nossa área são excelentes. Tudo o que existe é feito de partículas elementares e portanto, se quisermos conhecer as leis fundamentais da natureza, temos de conhecer as leis que governam o comportamento das partículas elementares.

O ser humano sempre teve um desejo de conhecer como funciona o Universo em que vive e esse desejo continuará a existir – faz parte da essência humana.

> Em 2020 o CERN divulgou publicamente as decisões que foram tomadas para a estratégia europeia de desenvolvimento desta área. O plano estratégico inclui um programa experimental muito ambicioso e isso significa que haverá muito trabalho a fazer, tanto experimental como teórico, assim como de desenvolvimento tecnológico. Isso irá criar muitas oportunidades de formação de cientistas e engenheiros e grandes progressos na Ciência. É sabido que um resultado importante deste tipo de atividade são os “spin-offs”, ou seja o desenvolvimento de novas tecnologias revolucionárias com aplicação em muitos outros campos tal como por exemplo a medicina.

Desde o tempo em que eram estudantes até aos dias de hoje, qual consideram ter sido a maior revolução dentro da Física de Partículas e porquê?

Resposta:

> Do ponto de vista científico, pensamos que a maior revolução terá sido o estabelecimento do Modelo Standard da Física de Partículas, deixando em aberto novos horizontes de Física para além deste modelo, como por exemplo a descoberta da massa não nula dos neutrinos.

> Do ponto de vista de impacto na sociedade, talvez tenha sido o resultado da implementação da World Wide Web criada no CERN, inicialmente para uso interno.



Figura 1: Evento de lançamento do livro “A Física de Partículas em Portugal - Origem e Desenvolvimento”.

O que se espera que leitores com menos bases de física de partículas retirem da leitura deste livro?

Resposta:

> Gostaríamos que as pessoas percebessem que, embora Portugal tenha entrado muito tarde no projeto europeu e mundial de investigação em física de partículas, conseguimos ser hoje um país competitivo na cena internacional neste domínio e estamos fortemente envolvidos no seu progresso.

> Também gostaríamos que a leitura das nossas experiências de vida atraíssem jovens talentosos para virem trabalhar no nosso domínio.

Algum conselho para os interessados em seguir estudos ou uma carreira nesta área de investigação?

Resposta:

> Sim, devem acreditar que é possível fazer um doutoramento competitivo em Portugal e seguir uma carreira internacional de sucesso neste domínio. Isto não quer dizer que desencorajemos os doutoramentos no estrangeiro. Há diversidade de boas oportunidades.

> É importante que haja jovens talentosos a fazerem doutoramento em Portugal e jovens talentosos a fazerem doutoramento no estrangeiro.



Figura 2: Capa da primeira edição do livro.

Sobre os entrevistados

Gustavo Branco

De entre os prémios que ganhou durante a sua carreira, está o von Humboldt pelo trabalho desenvolvido em “Violação de CP”. No que consiste a “Violação de CP”?

Resposta:

> A simetria CP consiste no produto das simetrias C e P. A simetria C consiste em transformar uma partícula na sua anti-partícula. A simetria P corresponde em transformar um evento físico no evento visto num espelho.

> Por exemplo, quando uma pessoa se vê num espelho vê uma imagem de uma pessoa parecida, mas diferente, a pessoa no espelho tem o coração do seu lado direito. A invariância de CP tem consequências práticas muito importantes. Foi demonstrado que para que seja criada uma assimetria matéria-antimatéria, como é observada no nosso Universo, temos de ter violação de CP. Portanto podemos dizer que para que um Universo como o nosso possa existir, tem de haver violação de CP.

Margarida Rebelo

Foi e é a atual presidente do CFTP. Como é o seu dia-a-dia, e o que mais a entusiasma neste cargo?

Resposta:

> O maior desafio do centro é conseguir atrair bons estudantes, conseguir contratar bons postdocs e conseguir renovar os membros permanentes da equipa com a entrada de novos membros. Para tal é necessário ter financiamento adequado. É preciso também ter financiamento para consultores, missões, equipamento, etc.

> Parte do tempo como presidente é passado a gerir as verbas do centro, a concorrer a projetos para financiamento ou a escrever inúmeros relatórios para uma série de instituições para além da FCT, muitas vezes com a mesma informação pedida em formatos diferentes ou correspondente a intervalos de tempo não coincidentes.

> O que mais me entusiasma é ter sucesso nos objectivos pretendidos.

Bactérias Multirresistentes

A batalha silenciosa e o potencial da nanotecnologia

por Diogo Caetano

INESC-MN Instituto de Engenharia de Sistemas e Computadores - Microsistemas e Nanotecnologia

Descoberta em 1928 por Sir Alexandre Fleming, a penicilina marcou o início da era moderna dos antibióticos, sendo amplamente introduzida na prática clínica a partir de 1945. Durante as décadas de 1940 a 1960, a maioria das classes de antibióticos que ainda utilizamos hoje foram identificadas e implementadas. Este período pode ser descrito como uma “idade de ouro” na saúde, particularmente no combate a micro-organismos como as bactérias.

A pandemia silenciosa

Os antibióticos revolucionaram a medicina. Além de tornar tratáveis infecções anteriormente letais, possibilitaram avanços significativos em áreas como cirurgias, transplantes e tratamentos oncológicos de longa duração. Até mesmo em campos como a odontologia e procedimentos estéticos, tanto invasivos quanto não invasivos (como implantes e tatuagens), os antibióticos desempenharam um papel crucial. Eles traçaram o caminho para a evolução da medicina moderna e influenciaram muitos aspectos da nossa sociedade contemporânea.

No entanto, após a “idade de ouro”, e como ilustrado no gráfico da Figura 1, o início do século XXI marcou o que tem sido referido como o “vazio da descoberta” em relação aos antibióticos. Desde então, por diversas razões, tanto económicas quanto tecnológicas, não temos testemunhado avanços significativos na indústria dos antibióticos.

Aliado à escassez de novas descobertas de antibióticos, a sociedade contemporânea inadvertidamente proporcionou condições ideais para que bactérias e outros microorganismos desenvolvessem resistências a quase todos os meios que possuímos para combatê-los. O uso excessivo de antibióticos, tanto na medicina humana quanto na veterinária, bem como na produção agropecuária, resul-

tuou na exposição contínua destes microrganismos a concentrações diluídas de antibióticos, pesticidas e outros medicamentos, muitas vezes encontrados em locais como esgotos. Esta exposição contínua gerou uma pressão seletiva intensa, favorecendo a sobrevivência e proliferação de variantes mais resistentes. Além disso, proporcionou o tempo necessário para que, através de mutações e outras respostas biológicas, as bactérias desenvolvessem novos mecanismos de resistência.

Estamos, assim, diante de um cenário duplamente preocupante: por um lado, a estagnação na descoberta de novos antibióticos e, por outro, o surgimento acelerado de microrganismos resistentes. Esta combinação tem o potencial de desencadear crises de saúde pública de magnitude sem precedentes. Mesmo sem prever exatamente como esta situação se irá desenrolar, é quase certo que, na próxima década, enfrentaremos mudanças significativas em muitos aspectos da nossa vida diária. É por isso que a resistência aos antibióticos, conhecida pela sigla em inglês AMR, tem sido frequentemente apelidada de “**A Pandemia Silenciosa**”.

Os primeiros locais onde os sinais desta pandemia estão a “quebrar o silêncio”, são os locais onde são prestados cuidados de saúde, principalmente hospitais centrais. Atualmente 1 em cada 5 pacientes hospitalares, adquire uma infecção resultante da sua visita ao hospital. Só na Europa isto representa praticamente 100 mil pacientes todos os anos. Destas 100 mil infecções, 1 em cada 4 é causada por um organismo multirresistente, sendo que este número é principalmente preocupante quando consideramos que algumas destas bactérias têm taxas de mortalidade superiores a 30%.

Face à magnitude desta ameaça, o Centro Europeu para o Controlo das Doenças (ECDC) tem divulgado diversos relatórios e estabelecido normas recomendadas. O objetivo é manter uma monitorização contínua do progresso

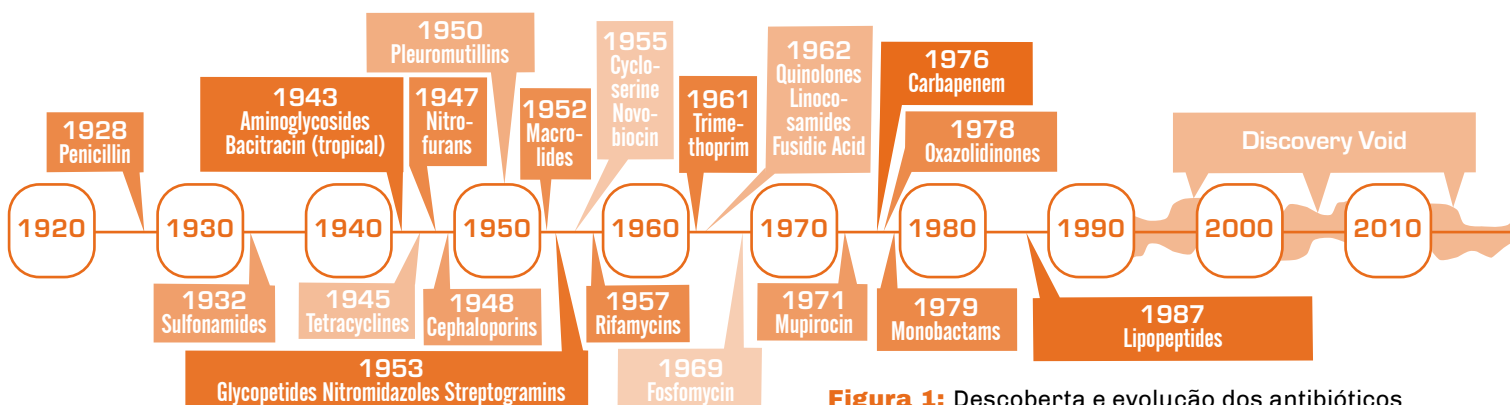


Figura 1: Descoberta e evolução dos antibióticos

1 in 5
hospital patients have at least one
Hospital Acquired Infection

98 000
patients have at least one
Hospital Acquired Infection (every
year in EU)



1 in 4
Hospital Acquired
Infections are caused
by Antibiotic-Resistant
Bacteria (AMR)



Numbers of Deaths 2050

Cancer
8 300 000



AMR
10 000 000



2017
1 270 000



Figura 2: Impacto da AMR nos hospitais europeus, previsão das mortes anuais causadas por organismos multirresistentes em 2050 em comparação com as mortes causadas por cancro.

Figura 3: Comparação entre o número de mortes por AMR ao ano e número de mortes que seria provocado por mais de 100 quedas de aviões.

desta pandemia e preparar os sistemas de saúde para um combate que se antevê inevitável.

Estes relatórios salientam que, atualmente, cerca de 1.3 milhões de vidas são perdidas globalmente devido à AMR, sendo 35 mil destas na Europa. Mesmo os sistemas de saúde mais avançados do continente estão a ser desafiados por esta crise. Para colocar em perspetiva, este número é comparável à perda total de passageiros de 100 voos de médio curso anualmente (Figura 3). Se na Europa um avião caísse a cada três dias, levando consigo a vida de todos os seus ocupantes, quem teria coragem para entrar num aeroporto? É imperativo que cada um de nós, dentro das suas possibilidades, atue com urgência face a esta realidade. É com este propósito que as equipas de investigação do INESC MN e INESC-ID têm trabalhado arduamente nas últimas quase duas décadas.

Onde atuar?

Uma das estratégias-chave para travar ou atenuar o avanço da resistência aos antibióticos reside no rastreio e diagnóstico adequados, sobretudo nos principais focos de contágio e proliferação. Como já referido, os hospitais centrais são um desses locais críticos, dada a elevada afluência de pacientes oriundos de diferentes localidades, potenciando o contágio. Adicionalmente, o uso intensivo de antibióticos nestes locais pode fomentar o surgimento de novas estirpes resistentes.

As urgências hospitalares, e em particular as unidades de cuidados intensivos, são zonas de alto risco para a disseminação de bactérias multirresistentes. Nestas áreas, os pacientes estão, em média, 6 horas sob intervenção antes de serem internados. Dentre os que chegam às urgências, vários apresentam fatores que os colocam em alto risco de serem portadores de microrganismos resistentes. Contudo, o curto período de 6 horas não é suficiente para rastrear todos estes pacientes com os métodos convencionais e economicamente viáveis que ainda demoram 48-72 horas a providenciar uma resposta



conclusiva. Como consequência, muitos pacientes, mesmo aqueles identificados como de alto risco, acabam por ser internados junto de outros. Esta prática potencia o contágio, especialmente durante os cuidados diários prestados aos pacientes, representando um risco tanto para os doentes como para os profissionais de saúde.

A solução que propomos é a implementação de um dispositivo capaz de identificar, de forma inequívoca e no espaço de 1 hora, se um paciente está colonizado ou infetado por um microrganismo resistente. Com esta informação, poder-se-á agir de forma adequada, seja através de tratamento específico ou isolamento, minimizando assim os riscos para todos os envolvidos e combatendo a evolução deste problema.

Bactometer: a solução nanotecnológica para a pandemia silenciosa?

O Bactometer é de um detetor biológico que, se usado como sistema de rastreio, será um apoio importante no combate à resistência antimicrobiana em ambiente hospitalar. É um método de elevada precisão, ao nível de outros métodos já implementados mas mais dispendiosos, como



Figura 4:
Protótipo do
dispositivo
Bactometer

é o caso do PCR. Tem a capacidade de produzir um resultado em menos de uma hora, podendo ser utilizado por qualquer pessoa sem que necessite de experiência prévia (à semelhança do teste de COVID), e em termos de custo é equiparável com as culturas laboratoriais (um método clássico mas menos preciso, bastante utilizado neste contexto).

As características inovadoras do Bactometer foram atingidas com a utilização de métodos magnéticos e “inteligência artificial” (machine learning), em substituição dos métodos óticos utilizados pela maioria das tecnologias existentes.

O Bactometer junta duas técnicas realizadas em circuitos sequenciais (Figura 4 e 5): a de deteção de células em fluxo e a de análise de ácidos nucleicos (DNA, RNA). A investigação desenvolvida no INESC (MN e ID), no decorrer destes últimos 15 anos, foi essencial para a criação do Bactometer, sendo que o dispositivo integra tecnologias resultantes deste longo trabalho de investigação.

O projeto foi iniciado e acompanhado pelos professores do IST: Prof. Paulo Freitas, Prof. Susana Cardoso, Prof. Moisés Piedade, Prof. Jorge Fernandes e Prof. Gonçalo Tavares.

Também contribuíram para o desenvolvimento do dispositivo o Dr. José Germano, Dr. Filipe Cardoso, Dr. Sofia Martins e Dr. Verónica Martins, elementos da start-up Magnomics.

Mais recentemente as tecnologias foram continuamente melhoradas e utilizadas de forma sinérgica para produzir a solução a que chamámos Bactometer. Esta última fase de desenvolvimento foi o resultado de 4 teses de doutoramento do programa doutoral AIM que juntou alunos e orientadores de várias universidades para criar Sistemas Integrados Avançados (AIM em inglês).

No entanto existe um longo percurso desde tecnologia desenvolvida na universidade até algo que possa ser apresentado como um produto. É também nesta parte que a presente equipa de desenvolvimento do Bactometer está focada, embora também se continue a inovar a tecnologia.

Do laboratório ao mercado

Os elementos da equipa Bactometer participaram em várias formações sobre transferência de tecnologia e desenvolvimento de negócio. A mais recente e também mais impactante foi a frequência da HiTEch, e HiStartup, programas oferecidos pela HiSeedTech uma instituição focada na

valorização de tecnologia desenvolvida em ambiente académico. Como resultado desta formação a equipa preparou um plano de negócios e validou o seu modelo junto dos ‘stakeholders’. Foi esta preparação que somou mais de 200h de trabalho em sala de aula e em campo que permitiu o projeto chegar ao estado presente.

O Bactometer foi vencedor do prémio ‘Portugal 2022 eAwards’, atribuído pela NTT DATA FOUNDATION, no valor de 10.000€. Representou Portugal na final dos eAwards Global, que decorreu em Madrid (24 - 26 Outubro 2022), embora não tenha sido o vencedor, esteve entre os 15 projetos vencedores da Europa e América Latina: Bélgica, Brasil, Chile, Colômbia, DACH – Alemanha, Áustria e Suíça, Espanha, Holanda, Itália, México, Peru, Portugal, Reino Unido e Roménia.

Para chegar ao ponto presente a equipa do Bactometer participou no programa de comercialização de tecnologia HiTech, com a duração de 14 semanas. Este programa é direcionado a equipas de investigação que procuram orientações no sentido de avançar com as tecnologias, desenvolvidas nas atividades de pesquisa e investigação, para o mercado. Esta formação foi essencial para o início do projeto, permitindo a definição do business plan e a validação do local de maior impacto para a fase inicial de entrada do dispositivo no mercado - as Unidades de Cuidados Intensivos (UCI).

Em janeiro de 2023 foi um dos vencedores do programa ‘EIT Health RIS Innovation Call’, o qual vai permitir a continuidade do projeto. Este programa oferece acesso a financiamento, mentoria, serviços de formação e oportunidades de networking para inovadores na área da saúde provenientes dos países do Esquema Regional de Inovação.

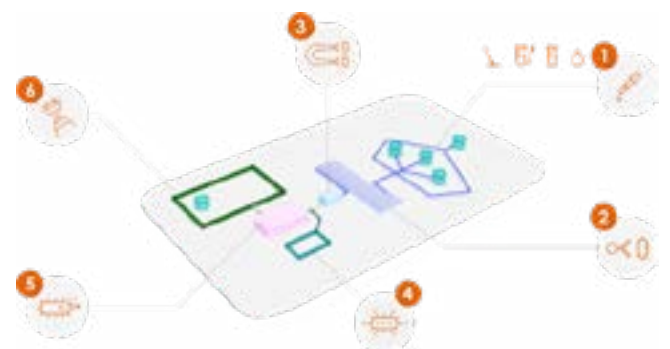


Figura 5: Diagrama simplificado de funcionamento do Bactometer com os vários passos do processo: 1. Inserção da amostra; 2. Marcação magnética das bactérias; 3. Captura magnética das bactérias; 4. Deteção das bactérias; 5. Lise das bactérias; 6. Análise de ácidos nucleicos para determinação de resistências.

Quem é a equipa?

A equipa inicial contém os seguintes elementos:

- > Diogo Caetano (Doutoramento em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, IST)
- > Ruben Afonso (a concluir Doutoramento em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, IST)
- > Débora Albuquerque (a concluir Doutoramento em Engenharia Biomédica, IST)
- > Ana Rita Soares (Doutoramento em Física Tecnológica, IST)

Cada membro tem responsabilidades específicas, desde o design de sistemas de aquisição até à deteção de doenças infecciosas.

Diogo Caetano - Desenho de sistemas de aquisição de alta precisão para sensores (magnéticos, no caso do Bactometer).

Ruben Afonso - Desenvolvimento de hardware para interface com sensores.

Débora Albuquerque - Identificação de doenças infecciosas através da deteção de ácidos nucleicos.

Ana Rita Soares - Desenvolvimento de sensores magnéticos para o Bactometer, e otimização da marcação biológica para analitos-alvo.

Conclusão

Todos os anos, na Europa, estima-se que as bactérias multirresistentes sejam responsáveis por cerca de 4,5

milhões de infeções hospitalares. Em cada dia, pacientes que chegam às Unidades de Cuidados Intensivos dos hospitais, já colonizados por estas bactérias, acabam por introduzir tais microrganismos no ambiente hospitalar. Como resultado, 20% dos pacientes hospitalizados acabam por ser infetados por estas bactérias, que continuam a desenvolver resistências.

O Bactometer surge como uma solução inovadora, permitindo identificar, de forma rápida e eficaz, tanto a estirpe da bactéria como os seus mecanismos de resistência. Este dispositivo tem o potencial de reduzir drasticamente o tempo de espera para diagnósticos, de 48-72 horas (usando o método tradicional de cultura em laboratório) para menos de uma hora.

Ao acelerar o processo de diagnóstico, é possível tomar medidas preventivas mais rapidamente, como a aplicação de cuidados de assepsia mais rigorosos ou até o isolamento do paciente. Além disso, pode-se limitar o uso desnecessário de antibióticos, uma das principais causas do aumento da resistência bacteriana. Estas medidas não só beneficiam a saúde e qualidade de vida dos pacientes, mas também podem levar a significativas poupanças económicas, ao otimizar a utilização de recursos técnicos e humanos nos hospitais.

Em suma, o projeto Bactometer é uma clara demonstração de como a inovação tecnológica pode ser uma aliada poderosa na resolução de desafios críticos na área da saúde e no bem-estar da sociedade.

Link:
<https://www.bactometer.com/>

Proibido Copiar!

por Alexandre Barbosa e Maria Beatriz Costa

Alunos do 5º ano de MEFT, Instituto Superior Técnico

De certeza que já tiraste uma fotografia ou desenhaste uma paisagem, ou o retrato de alguém. Talvez até tenhas copiado num teste, embora soubesses que não o devias fazer.

Dependendo da qualidade da câmara que usaste, das tuas habilidades artísticas ou do teu nervosismo, obtiveste uma reprodução mais ou menos fiel da imagem ou resposta em frente aos teus olhos.

Para um monge copista, copiar um livro era um trabalho árduo e moroso, mas necessário para perpetuar o conhecimento dos antigos. Hoje, colocamos uma folha de papel em branco numa fotocopiadora, carregamos num botão e em poucos segundos temos uma reprodução da

página que pretendíamos copiar. A invenção da imprensa por Gutenberg no século XV, antecessora das máquinas fotocopiadoras de hoje, revolucionou a história da humanidade ao permitir a disseminação de conhecimento através da cópia de livros em massa.

Ao nível microscópico, a vida é uma sucessão de cópias a uma velocidade estonteante. As células leem e replicam o seu ADN para se dividir; no tempo que demoraste a ler este artigo até aqui, as tuas células dividiram-se mais de dez milhões de vezes!

Contudo, quando reduzimos ainda mais a escala e entramos no estranho mundo da mecânica quântica, deparamo-nos com uma dificuldade surpreendente: é impossível

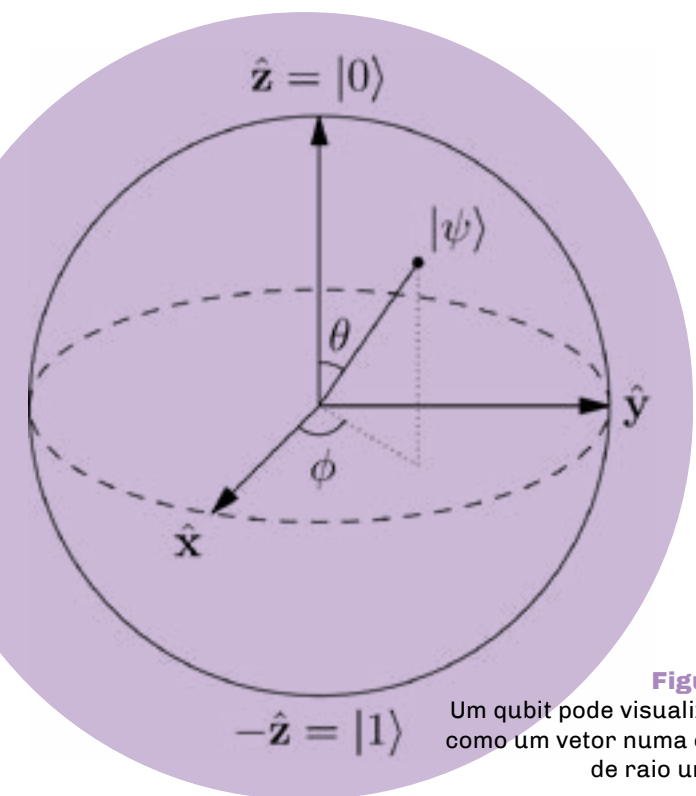


Figura 1:

Um qubit pode visualizar-se como um vetor numa esfera de raio unitário

copiar um estado quântico desconhecido, sem destruir o original.

O Teorema da Não-Clonagem, que afirma esta impossibilidade, é um resultado fundamental e cuja demonstração é, como vamos ver, muito simples. Contudo, foi demonstrado por Wootters e Zurek apenas em 1982, mais de 50 anos depois do nascimento da mecânica quântica!

O seu argumento era simples: quando um átomo se depara com um fóton de polarização bem definida, há uma certa probabilidade de emitir um segundo fóton com a mesma polarização que o fóton inicial. Será então possível utilizar este processo para criar cópias do fóton inicial?

A resposta negativa foi obtida em apenas metade de uma folha: é impossível amplificar o estado inicial. Desde então, a demonstração do Teorema da Não-Clonagem foi sendo cada vez mais simplificada, sendo agora possível fazê-la num par de linhas.

Para compreender esta elegante demonstração, temos de introduzir a ideia de qubit, a ‘versão quântica do bit’. Um qubit é um sistema quântico de dois estados, podendo assim ser implementado em sistemas físicos como um fóton com dois estados de polarização ou um eletrão com dois estados de spin.

Vamos supor que queremos copiar o qubit genérico $|\psi\rangle = \alpha |0\rangle + \beta |1\rangle$ em que $|0\rangle$ e $|1\rangle$ representam os dois níveis do nosso sistema e α e β são números complexos. Uma máquina fotocopidora quântica tem de imprimir $|\psi\rangle$ na folha em branco, a que podemos chamar $|0\rangle$, transformando o estado inicial $|\psi\rangle \otimes |0\rangle$ em $|\psi\rangle \otimes |\psi\rangle$

$$(\alpha |0\rangle + \beta |1\rangle) \otimes |0\rangle \rightarrow (\alpha |0\rangle + \beta |1\rangle) \otimes (\alpha |0\rangle + \beta |1\rangle) \\ = \alpha^2 |0\rangle |0\rangle + \alpha\beta |0\rangle |1\rangle + \alpha\beta |1\rangle |0\rangle + \beta^2 |1\rangle |1\rangle$$

Contudo, vemos que no estado final temos funções

quadráticas de α e de β , pelo que a transformação não é linear nem, portanto, unitária, logo é proibida pela mecânica quântica!

As únicas situações em que esta transformação é válida é quando $\alpha = 0$, ou seja, os estados são ortogonais, $\beta = 0$ e o estado coincide com a folha em branco.

Ainda para mais, isto não é o resultado de termos insistido que queríamos fazer uma cópia perfeita do nosso sistema. Bužek e Hillery perguntaram-se em 1996 quão semelhantes podiam ser as cópias e o original de uma fotocopidora quântica imperfeita. Ao engendrar diferentes estratégias, dois grupos de investigadores mostravam no ano seguinte que a fidelidade máxima de uma fotocopidora quântica universal para qubits é $5/6$, ou cerca de 83%.

O Teorema da Não-Clonagem pode fazer-te lembrar o Princípio de Incerteza de Heisenberg, que nos diz que é impossível medir simultaneamente e com precisão ilimitada alguns pares de variáveis, como a posição e a velocidade – porque estão mesmo relacionados!

Se a cópia de um estado quântico arbitrário fosse possível, então podíamos fazer tantas cópias quanto quiséssemos de um estado e medir a posição em algumas e a velocidade noutras, de modo a conhecer ambas com precisão arbitrária e violar o Princípio de Incerteza! Por outro lado, se pudéssemos medir com precisão arbitrária todas as propriedades de um sistema, podíamos fazer cópias ilimitadas, violando o Teorema da Não-Clonagem.

Além disso, o Teorema da Não-Clonagem garante a impossibilidade de informação viajar a uma velocidade superior à da luz. Vamos imaginar que dois amigos, a Alice e o Bob, querem desafiar as leis da física e transmitir informação instantaneamente: para isso, partilham um sistema de dois eletrões entrelaçados, e codificam a informação através do seu spin.

Quando a Alice faz uma medição ao spin do seu eletrão, o spin do eletrão do Bob irá colapsar num certo estado. Se o Bob puder fazer cópias do seu eletrão e medir o spin destas cópias, poderá ficar a saber qual foi a base que a Alice escolheu para fazer a sua medição e perceber o bit que queria transmitir. Se a Alice e o Bob estiverem separados por uma grande distância, poderiam comunicar a velocidades superiores à da luz!

As consequências do Teorema da Não-Clonagem estendem-se ao mundo das tecnologias quânticas. Em particular, é uma das chaves que garante a segurança dos protocolos de criptografia quântica. Se a Alice e o Bob estiverem a comunicar usando informação quântica, mas alguém, a que chamamos



Eve, estivesse a ouvir e pudesse fazer cópias dos estados que enviam, então conseguiria decifrar a mensagem sem ninguém saber!

Em contrapartida, em computação quântica, a impossibilidade de clonar estados quânticos apresenta uma dificuldade: é inevitável surgirem erros num computador quântico devido a ruído, mas as técnicas de correção de erros que se usam em computadores clássicos, que usam cópias redundantes do mesmo bit, não podem ser aplicadas a qubits! Assim, tornou-se necessário desenvolver novas técnicas de correção de erros para tornar a computação quântica viável. Em 1995, Shor e Steane desenvolveram o primeiro algoritmo quântico de correção de erros, iniciando uma impetuosa área de investigação multidisciplinar.

Além disso, o Teorema da Não-Clonagem tem consequências intrigantes para séries de ficção científica como o Star Trek: se alguma da informação que define quem somos estiver codificada em estados quânticos (não-ortogonais) no nosso cérebro, por exemplo, então é impossível clonar uma pessoa para a teleportar – sem a destruir no processo.

Em princípio, se pensarmos bem, todas as nossas experiências, alegrias e tristezas, ideias e pensamentos po-

dem ser codificados numa sequência longa, mas finita de bits e, portanto, num número natural. Ao menos o Teorema da Não-Clonagem levanta a possibilidade desse número ser só nosso. Além disso, dá-nos alguma privacidade: mesmo com tecnologias futuristas que permitam fazer um scan do nosso cérebro com precisão ilimitada, ninguém pode decifrar o nosso número e vamos sempre conseguir surpreender o mundo com um novo dígito.

Referências:

- [1] "A single quantum cannot be cloned", W. K. Wootters e W. H. Zurek. *Nature* 299, 802 (1982)
- [2] "Error correcting codes in quantum theory," A. M. Steane, *Phys. Rev. Lett.* 77, 793-797 (1996).
- [3] "Good quantum error-correcting codes exist", A. Calderbank e P. Shor. *Phys. Rev. A* 54, 1098 (1996)
- [4] "Quantum Cloning", V. Scarani, S. Iblisdir, N. Gisin e A. Acin. *Rev. Mod. Phys.* 77, 1225-1256 (2005)
- [5] "Quantum Computing since Democritus", S. Aaronson, Cambridge University Press (2013)
- [6] "Quantum Copying: beyond the No-Cloning Theorem", V. Buzek e M. Hillery, *Phys. Rev. A* 54, 1844 (1996)
- [7] "Quantum Cryptography", N. Gisin, G. Ribordy, W. Tittel, H. Zbinden, *Rev. Mod. Phys.* 74, 145 (2002)
- [8] "The No-Cloning Theorem and the Human Condition", S. Aaronson, *shetl-optimized*.

30 Anos do Grupo de Lasers e Plasmas

por José T. Mendonça e Luís O. Silva

GoLP - Grupo de Lasers e Plasmas



GoLP está ligado, desde o início, ao estudo dos fenómenos espetaculares de aceleração que podem ter lugar em plasmas.

Há muito que se sabia que os plasmas, apesar de eletricamente neutros, permitem criar localmente campos elétricos intensos. Daí resulta a formação de choques e discontinuidades, com grande importância em astrofísica.

No início dos anos 90, surgiu a ideia de produzir esses fenómenos em laboratório. Daí resultaria a criação de novas fontes de radiação, e de novos aceleradores. O objetivo era, pois, participar numa revolução científica que se anunciava.

Desde já, a aceleração de partículas carregadas, como os electrões, os positrões e os prótons, através de mecanismos que tornariam obsoletos os conceitos usados pelo CERN. Depois a aceleração de fótons que poderiam conduzir a fontes intensas de radiação laser sintonizada. Trinta anos depois, essas expectativas não foram de

modo algum defraudadas.

As condições estavam reunidas para essa revolução, e



Figura 1: Membros do GoLP no GoLP 2014 Winter Retreat no Castelo de S. Jorge, Lisboa, dezembro de 2014

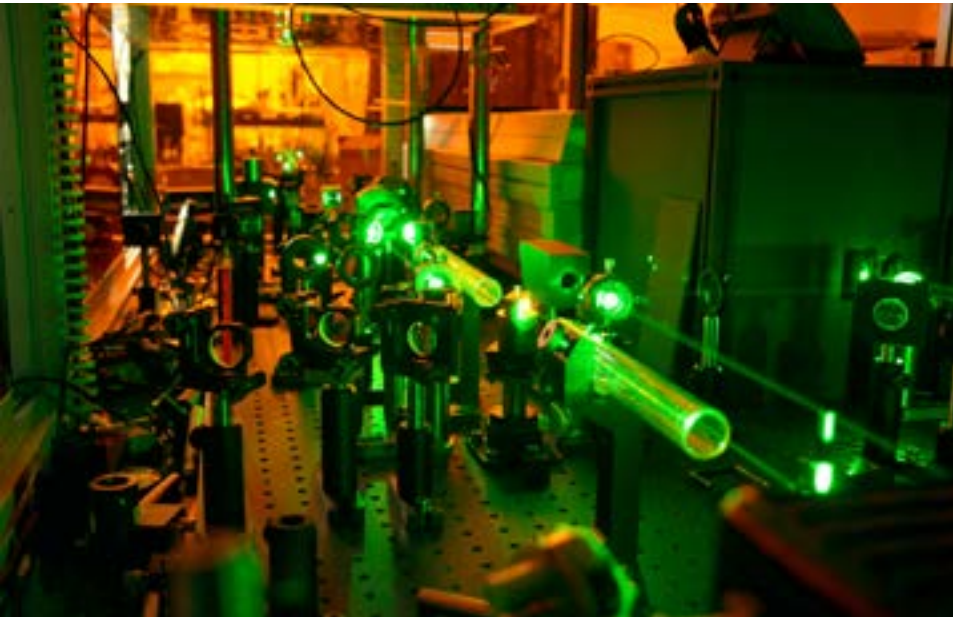


Figura 2: Laboratório de Lasers Intensos

o GoLP queria tomar parte nela. Primeiro, os lasers CPA, introduzidos por Donna Strickland e Gérard Mourou em 1985 [tendo recebido o Prémio Nobel da Física em 2018 por esta descoberta], permitiam atingir potências de Tera-Watt em pequenos laboratórios. O GoLP foi um dos primeiros laboratórios universitários a construir na Europa um laser deste tipo. Isso poderia servir de base a um acelerador a plasma, para o qual decidimos desenvolver um espectrómetro de elétrons. O esquema de aceleração, que nos anos 90 começou a ser explorado em todo o mundo, tinha sido proposto teoricamente em 1979 por Toshiki Tajima e John Dawson da Universidade da Califórnia Los Angeles (UCLA).

Paralelamente, o processo de aceleração de fótons, em que o IST tinha sido pioneiro, com um primeiro artigo publicado também em 1979, deu origem aos primeiros resultados espetaculares do GoLP no domínio experimental, com a observação de um desvio espectral de pulsos laser usando frentes de ionização relativistas. Esses resultados puseram o GoLP na vanguarda da aceleração de fótons à escala internacional. Outro resultado experimental notável dos primeiros anos do GoLP diz respeito à observação de cascatas de fótons, do infravermelho até ao UV, publicada em 2000. Dada a sua coerência de fase, essas cascatas permitiram mais tarde produzir pulsos de 1 só ciclo-óptico, no visível.

Apesar da pequena dimensão da equipa inicial, o que a tornou ímpar desde o início foi a diversidade de temas estudados, tanto na teoria como em experiências. No domínio teórico, é preciso realçar os dois temas dominantes dos primeiros anos deste grupo, que foram, a cinética de fótons e os neutrinos. A teoria cinética dos fótons, lançada por nós em 1998, permitia descrever a evolução de pulsos laser ultra-curtos em plasmas e meios ópticos como se fossem um gás. Ela incluía, não só a aceleração de fótons como a auto-modulação de fase, e a formação

de feixes laser de luz branca, a chamada luz super-contínua. Finalmente, o estudo da interação neutrino-plasma, iniciado por nós em 1995, permitia explicar fenómenos astrofísicos como a explosão de supernovas. Esses foram alguns dos primeiros, de entre os inúmeros resultados notáveis do GoLP nos anos que se seguiram.

Estes resultados lançaram o Laboratório de Lasers Intensos (infraestrutura científica nacional), o laboratório VOX-EL, onde projectos do Conselho Europeu de Inovação têm sido desenvolvidos e Laboratório MotLab – estes laboratórios sustentam muita da actividade experimental atual em temas tão diversos como o desenvolvimento de tecnologia laser de alta intensidade, a geração de harmónicas em gases e sólidos e novas

fontes de radiação, e os átomos frios/plasmas quânticos. Com regularidade, investigadores do GoLP participam também em colaborações experimentais internacionais, como por exemplo a experiência AWAKE no CERN, em que o feixe de prótons SPS, que alimenta o LHC, é utilizado para testar novos conceitos de aceleração em plasmas, ou lideram experiências nalguns dos maiores lasers do mundo, como a Extreme Light Infrastructure.

As actividades de teoria e simulação foram reforçadas com a ligação ao grupo de John Dawson e Warren Mori, na UCLA, e o desenvolvimento em conjunto com a UCLA do código OSIRIS, a referência mundial para as simulações cinéticas de plasmas. A sua combinação com o acesso aos maiores supercomputadores do Mundo tem servido de base a muitos dos avanços científicos recentes no GoLP que incluíram os trabalhos pioneiros da interação de lasers exóticos com plasmas, a formação de ondas de choque por lasers, aceleração de iões, elétrons e positrões em plasmas, ou a física dos plasmas laboratoriais ou astrofísicos sob condições extremas, em que os efeitos da eletrodinâmica quântica ou da relatividade geral têm de ser incluídos.

O GoLP tem assim mantido e expandido a visão inicial quando da sua criação. Muito deste sucesso é também resultado dos contributos das múltiplas gerações de estudantes de mestrado e doutoramento, muitos do IST, que estão espalhados por muitas instituições nacionais e estrangeiras e são sempre fonte de inspiração e de orgulho.

Atualmente, o grupo é constituído por quase vinte doutorados e outros tantos estudantes que contribuem com resultados científicos na fronteira do conhecimento em física dos plasmas, óptica e lasers. Continua a abrir caminho para novas áreas, sempre com o objetivo de manter e amplificar um ambiente científico motivador, fértil e

diverso que tem sido sempre um dos aspectos distintivos do GoLP.

O GoLP domina um conjunto variado de técnicas que são relevantes para várias questões de grande importância, a curto e médio prazo, associados a novos instrumentos científicos ou projectos internacionais, e onde pretendemos ter contributos científicos e tecnológicos relevantes. Estes temas incluem a física dos plasmas em condições extremas, por exemplo em torno de objec-

tos compactos (como estrelas de neutrões ou buracos negros) ou no foco de lasers ultra-intensos, os novos aceleradores e fontes de luz a plasma ou a fusão nuclear com lasers.

O GoLP continua assim a sua procura permanente de novos desafios dando resposta a alguns dos principais problemas científicos e tecnológicos dos nossos tempos, fazendo jus ao seu lema "**Committed to continuously raising the bar**".



Terapia FLASH

Uma nova ferramenta ao serviço da medicina moderna?

por Gonçalo Ribeiro

Aluno do 3º ano de LEFT, Instituto Superior Técnico

Em 2020, contabilizaram-se mais de 19 milhões de casos de cancro e cerca de 10 milhões de mortes mundialmente [1].

Perspetiva-se que este cenário se agrave, estimando-se que, em 2030, sejam diagnosticados 26 milhões de novos casos e ocorram 19 milhões de mortes. Deste modo, o cancro, terceira maior causa de mortes, assume-se como um dos grandes desafios da Medicina Moderna [2].

Atualmente, dispomos de várias opções de tratamento, nomeadamente cirurgia, quimioterapia e radioterapia. Esta última representa cerca de 50% dos tratamentos prescritos [3], utilizando radiação ionizante (administrada através de um

feixe externo ou de núcleos radioativos que depositam a sua energia junto ao tumor) com o objetivo de induzir a morte das células cancerígenas [4]. Não obstante, os

avanços nas últimas décadas para aumentar o rácio terapêutico da radioterapia convencional [5], efeitos secundários a curto e longo prazos são uma constante para os pacientes, comprometendo a sua qualidade de vida [6][7]. Assim, existe uma evidente preocupação em procurar novas terapias que salvaguardem a qualidade de vida do doente, surgindo, no ramo da radioterapia, a Terapia FLASH.

Esta terapia recorre a feixes de partículas (eletrões, prótons e raios-x [5]) que, ao invés da radioterapia convencional, utilizam altas taxas de dose para administrar a

Beam Characteristics	CONV	FLASH
Dose Per Pulse \dot{D}_p	~0.4 mGy	~1 Gy
Dose Rate: Single Pulse \dot{D}_p	~100 Gy/s	~ 10^5 Gy/s
Mean Dose Rate: Single Fraction \dot{D}_m	~0.1 Gy/s	~100 Gy/s
Total Treatment Time T	~days/minutes	<500 ms

Figura 1: Características do feixe para radioterapia convencional e para FLASH (com eletrões), Fonte: [5]

radiação ao paciente (figura 1), minimizando os impactos nos tecidos saudáveis e alcançando os mesmos resultados que a radioterapia convencional no que concerne ao controlo do tumor [8] (figura 2). Embora existam estudos entre 1960-1980 neste tópico (figura 3), apenas recentemente, em 2014 [8], este tipo de terapia recebeu atenção considerável da comunidade científica, tendo, em 2019, sido realizado o primeiro tratamento em humanos em Lausanne [11].

Naturalmente, existe um grande entusiasmo em torno desta nova terapia, dado que somos confrontados, recorrentemente, com os efeitos nefastos dos tratamentos para tumores nos pacientes, que não se limitam a afetar estes últimos. Afetam, de igual modo, os seus entes queridos, pelo que uma terapia centrada na maximização da qualidade de vida do paciente permite aliviar o sofrimento derivado desta doença no doente e em quem o rodeia.

Porém, devido às suas características únicas, este tipo de terapias apresenta novos desafios para os cientistas, nomeadamente a monitorização do feixe, essencial para salvaguardar que a quantidade de radiação administrada

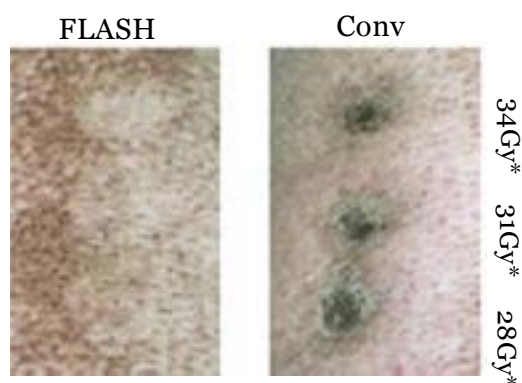


Figura 2: Figura 2: Pele de um porco 36 semanas após radioterapia convencional (5 Gy/min) e FLASH (300 Gy/s), Fonte: [9]. (1 Gy = 1 J/kg em S.I.)

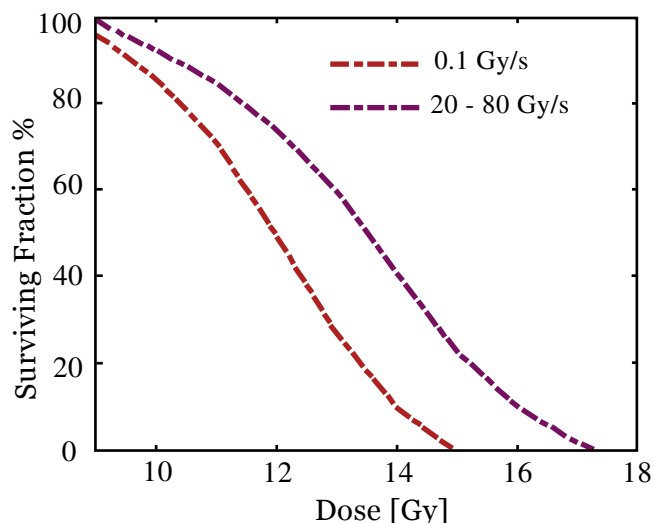


Figura 3: Comparação da taxa de sobrevivência das células saudáveis para altas e baixas doses em ratinhos, Fonte: [10]. Note-se que a quantidade de dose administrada é a mesma para ambos os tratamentos, diferenciando apenas na taxa de dose.

ao doente é a prescrita. Infelizmente, os dispositivos tipicamente utilizados para o efeito exibem efeitos de saturação [5], o que abre caminho a uma mudança de paradigma e uma necessidade de novas soluções. Portanto, para além da necessidade de compreendermos o efeito FLASH, esta terapia exige a entrada em caminhos outrora desconhecidos, um desafio, pois, extremamente excitante para qualquer cientista.

O tratamento de tumores é, indiscutivelmente, um dos maiores desafios da Medicina do século XXI. No entanto, a investigação em tratamentos inovadores é uma constante no campo, como se pôde constatar ao longo do artigo. A perseverança e a criatividade andam de mãos dadas nestes casos, uma vez que, para um desafio complexo como este, o comumente descrito pensamento fora da caixa é vital. Resta-nos pôr mãos à obra!

Referências:

- [1] - Ferlay, Jacques, et al. "Cancer statistics for the year 2020: An overview." *International journal of cancer* 149.4 (2021): 778-789.
- [2] - Thun, Michael J., et al. "The global burden of cancer: priorities for prevention." *Carcinogenesis* 31.1 (2010): 100-110.
- [3] - Baskar, Rajamanickam, et al. "Cancer and radiation therapy: current advances and future directions." *International journal of medical sciences* 9.3 (2012): 193.
- [4] - Jackson, Stephen P., and Jiri Bartek. "The DNA-damage response in human biology and disease." *Nature* 461.7267 (2009): 1071-1078.
- [5] - Ashraf, Muhammad Ramish, et al. "Dosimetry for FLASH radiotherapy: a review of tools and the role of radioluminescence and Cherenkov emission." *Frontiers in Physics* 8 (2020): 328.
- [6] - Sourati, Ainaz, Ahmad Ameri, and Mona Malekzadeh. "Acute side effects of radiation therapy." *Cham: Springer* (2017).
- [7] - Schüller, Andreas, et al. "The European Joint Research Project UH-

Dpulse-Metrology for advanced radiotherapy using particle beams with ultra-high pulse dose rates." *Physica Medica* 80 (2020): 134-150.

[8] - Favaudon, Vincent, et al. "Ultrahigh dose-rate FLASH irradiation increases the differential response between normal and tumor tissue in mice." *Science translational medicine* 6.245 (2014): 245ra93-245ra93.

[9] - Mazal, Alejandro, et al. "FLASH and minibeam in radiation therapy: the effect of microstructures on time and space and their potential application to protontherapy." *The British Journal of Radiology* 93.1107 (2020): 20190807.

[10] - Hornsey, Shirley, and D. K. Bewley. "Hypoxia in mouse intestine induced by electron irradiation at high dose-rates." *International Journal of Radiation Biology and Related Studies in Physics, Chemistry and Medicine* 19.5 (1971): 479-483.

[11] - Bourhis, Jean, et al. "Treatment of a first patient with FLASH-radiotherapy." *Radiotherapy and oncology* 139 (2019): 18-22.

DIY Physics:

Motor Caseiro

por Patrícia Torres, Bruno Semião e Mariana Abreu

Alunos do 2º e 3º ano de LEFT, Instituto Superior Técnico



> SOBRE O MOTOR

Antes de mergulharmos na atividade prática de construir um motor caseiro, é fundamental compreender o que exatamente é um motor. Um motor é um dispositivo que converte diversas formas de energia em movimento mecânico. Existe uma grande diversidade de motores disponíveis, variando desde os simples aos altamente complexos, cada um com o seu propósito e aplicações específicas.

No âmbito deste DIY, focar-nos-emos especialmente no motor eletromagnético - uma das suas variantes mais interessantes e amplamente utilizadas. Este motor, que terás a oportunidade de construir, baseia-se nas propriedades elétricas e magnéticas.

Vamos agora aprofundar no funcionamento deste motor caseiro.

A pilha desempenha um papel crucial, ao induzir a passagem de uma corrente elétrica pelo fio de cobre conectado às suas extremidades. Este fluxo de corrente, por sua vez, gera um campo magnético em seu redor.

Este campo magnético interage diretamente com o campo magnético do íman que está posicionado sobre a pilha. Esta interação magnética faz com que a bobina comece a girar em torno do seu eixo central.

Aqui está o motor em ação, convertendo a energia elétrica proveniente da pilha num movimento mecânico rotativo!

Ao construirmos este motor caseiro, ganhamos uma compreensão prática de como as propriedades eletromagnéticas podem ser aplicadas para gerar movimento. Seguem-se os passos abaixo para construirmos este motor caseiro e veres a ciência em ação!



> MATERIAL

- 1 pilha tipo D
- 1 íman
- Fio condutor
- Fita isoladora
- 2 clips/fio mais grosso
- 1 pedaço de lixa

> PROCEDIMENTO

1. Enrola o fio de cobre em torno de um objeto cilíndrico, para formar uma bobina;
2. Para prender o fio, enrola as pontas em torno da bobina;
3. Retira o revestimento das pontas do fio (podes usar uma lixa);
4. Desenrola uma parte dos clips/corta dois pedaços do fio mais grosso e enrola uma das pontas de cada um, e prende-os aos polos positivo e negativo da pilha, usando a fita isoladora (podes também usar *zip ties*), com a parte enrolada para cima;
5. Coloca o íman no centro da pilha (podes prendê-lo também, mas não é necessário);
6. Encaixa as extremidades da bobina nos clips/fios de cobre (tem cuidado para não ficares a tocar no cobre durante muito tempo, podes queimar-te devido ao Efeito de Joule);
7. Observa o teu motor a funcionar!



Leituras Recomendadas



1ª edição da revista NEON

Physis - Associação Portuguesa de Estudantes de Física

"A neon vai manter-te informado sobre tudo o que um Físico ou engenheiro atento e esclarecido deve saber e dinamizar a tua aquisição de novos conhecimentos. Pretendemos que seja feita, da maneira mais eficaz e atual, a comunicação entre todos os interessados da Física e os temas mais pertinentes e instigantes do momento."

- Joana Moura



3ª edição da revista Dº

NFEF-FCUL - Núcleo de Física e Engenharia Física da FCUL

"Dº, ou "D Grau", é a revista anual do NFEF-FCUL dos alunos para os alunos. Neste 7º mandato lançamos, com todo o orgulho, a sua 3ª edição, dando então, pela terceira vez, continuidade a esta nobre iniciativa que une alunos dos 3 ciclos de estudo, professores e investigadores, perante um propósito: divulgar a física, e aquilo que é estudá-la."

- Carolina Machado

PULSAR

Instagram PULSAR e edições anteriores

NFIST - Núcleo de Física do IST

No instagram da Pulsar - @pulsar_nfist - partilhamos artigos sobre os mais variados temas e entrevistas a investigadores que trabalham nas diferentes áreas da física. Os mais curiosos podem ainda consultar o website do NFIST, onde têm acesso a todas as revistas até à data, e conta agora com a 43ª edição para acrescentar aos seus 27 anos de história.

