

Redes neuronais e Machine learning: O Nobel

O que é o tempo ?

Nem tudo é relativo – Uma estratégia para facilitar a resolução de problemas

Entrevistas com Nobel: Alain Aspect e Anne L'Huillier

Entrevista com Andrea Cavalleri, Europhysics Prize de 2024

Índice

1 Editorial

artigo geral

3 A Inteligência Artificial em Física de Partículas: um pouco de história

Nuno Castro

artigo geral

5 O que é o tempo?

Augusto Barroso

artigo geral

13 Desenvolvimento de fibras de mudança de fase para regulação térmica

N. Hammes, C. Pinheiro, J. Monteiro, I.R. Segundo, N. Homem, M.M.P. Silva, H.P. Felgueiras, G.M.B. Soares, E. Freitas, M.F.M. Costa, J.A.O. Carneiro

sala de professores

18 Nem Tudo é Relativo – Uma estratégia para facilitar a resolução de problemas

Manuela Ramos Silva, Pedro Pereira da Silva

sala de professores

22 Escola de Verão Escola Secundária Mães d' Água

Margarida de Sousa Leonardo

entrevistas

24 Entrevista a Andrea Cavalleri premiado com o Europhysics Prize de 2024

Bernardo Almeida, Olivier Pellegrino

entrevistas

27 Entrevista a Anne L'Huillier, premiada com o Nobel da Física de 2023, por ocasião da atribuição do título de doutora Honoris Causa pela Universidade do Porto

Mafalda Moreira, André Pereira

entrevistas

29 Entrevista a Alain Aspect, premiado com o Nobel da Física de 2022, por ocasião da atribuição do título de doutor Honoris Causa pela Universidade do Minho

Tiago Ramalho

crónicas

36 100 anos da Mecânica Quântica

Carlos Herdeiro

livros e multimédia

37 Guia CIUHCT de História das Ciências e da Tecnologia

José Braga

vamos experimentar

39 Porque não cai a Lua?

Constança Providência, Rita Wolters

42 Notícias

CRÉDITOS

Imagem da capa: Centro de dados do CERN © CERN

Facebook: <https://www.facebook.com/Gazeta.de.Fisica>

Instagram: <https://www.instagram.com/gazetadefisica>

Desde sempre, o ser humano teve um fascínio sobre o que é a inteligência, sobre a capacidade de pensamento autónomo e sobre a possibilidade do desenvolvimento de máquinas ou robôs capazes de pensar e de executar tarefas complexas, envolvendo raciocínio, podendo substituir os seres humanos. Quem não conhece livros ou filmes de ficção científica como *Blade Runner* ou *Alien o 8.º passageiro*, onde personagens em tudo humanas se revelam ser máquinas pensantes, ou em que são explorados os receios de que as máquinas dominem o mundo, secundarizando os seres humanos, como em *Matrix*, por exemplo. Estas obras, pelo seu impacto, tornaram-se parte da cultura popular, expondo ideias cuja discussão, com o aparecimento de aplicações envolvendo inteligência artificial generativa como o ChatGPT, é cada vez mais atual.

Na base da inteligência artificial generativa, está o desenvolvimento das técnicas de aprendizagem automática (*machine learning*) e das redes neuronais. A aprendizagem automática baseada em redes neuronais tem-se desenvolvido muito nas últimas décadas, tendo-se tornado uma ferramenta importante, tanto para aplicações de âmbito científico como tecnológico, estando cada vez mais envolvida no nosso dia a dia. É neste contexto que surgem os trabalhos premiados com o Nobel da Física de 2024, atribuído aos físicos John Hopfield e Geoffrey Hinton por terem feito “descobertas e invenções fundamentais que possibilitam a aprendizagem automática com redes neuronais artificiais.”. Os trabalhos destes dois investigadores estão associados ao desenvolvimento de redes neuronais inspiradas em processos físicos e em técnicas da Física Estatística.

John Hopfield inventou uma rede neuronal que utiliza um método para guardar e recriar padrões. A rede de Hopfield ou rede associativa armazena padrões e usa modelos de Física, nomeadamente das interações entre

spins, para os recriar. Quando a rede recebe um padrão incompleto ou ligeiramente distorcido, o método permite encontrar o padrão armazenado que é mais semelhante. Geoffrey Hinton desenvolveu um modelo de rede neuronal baseado em Física Estatística denominado “máquina de Boltzmann”. Este modelo pode aprender a reconhecer elementos num determinado tipo de dados. A “máquina de Boltzmann” é treinada com exemplos do tipo daqueles que provavelmente surgirão quando ela for executada. Desta forma, pode reconhecer características ou padrões em novos dados, diferentes dos que lhe tinham sido fornecidos anteriormente. O conjunto destes trabalhos contribuiu de forma decisiva para o desenvolvimento das técnicas atuais de aprendizagem automática e inteligência artificial que estão a entrar no dia-a-dia e a revolucionar as nossas sociedades. Nesse âmbito, a Física não é exceção e estas técnicas têm aplicação tanto no ensino como na investigação. Neste número da Gazeta, Nuno Castro mostra-nos a sua importância e algumas das suas aplicações em Física, nomeadamente em Física de Partículas.

Também nesta Gazeta, mas para lá do Nobel, Augusto Barroso dá-nos uma perspetiva detalhada sobre a forma como é tratado o tempo no âmbito da Física atual.

Em 2024, tivemos em Portugal alguns investigadores de nível mundial, entre eles alguns prémios Nobel. Nesse âmbito, na Gazeta, tivemos oportunidade de falar com eles e de os entrevistar. Deixamos aqui o seu testemunho, a sua visão da Física, das suas áreas de estudo, e alguns dos seus “conselhos” para o futuro.

Boas leituras

Ficha Técnica

Estatuto Editorial

<http://www.spf.pt/gazeta/editorial>

Propriedade | Sede | Redação | Editor

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

Director

Bernardo Almeida

Editores

Francisco Macedo
Oliver Pellegrino

Secretariado

Maria José Couceiro - mjose@spf.pt

Comissão Editorial

José António Paixão - Presidente da SPF
Gonçalo Figueira - Anterior Diretor Editorial
Teresa Peña - Anterior Diretor Editorial
Carlos Fiolhais - Anterior Diretor Editorial
Ana Luísa Silva - Física Atómica e Molecular
Ana Rita Figueira - Física Médica
Augusto Fitas - Grupo História da Física
Deolinda Campos - Educação
Carlos Silva - Física dos Plasmas
Constança Providência - Física Nuclear
Joaquim Moreira - Física da Matéria Condensada
José Marques - Física Atómica e Molecular
Luís Matias - Geofísica, Oceanografia e Meteorologia
Manuel Marques - Óptica e Laser, Universidade do
Nuno Castro - Física Partículas
Rui Agostinho - Astronomia e Astrofísica
Sofia Andringa - Física Partículas

Correspondentes

André Pereira - Delegação Norte
Fernando Amaro - Delegação Centro
José Marques - Delegação Sul e Ilhas

Design / Produção Gráfica

Double Dot Consulting
geral@doubleddot.pt

Impressão

ACD Print
Rua Marquesa d'Alorna Nº12-A, 2620-271 Ramada – Odivelas
www.acdprint.pt | geral@acdprint.pt

NIPC 501094628

ISSN 0396-3561

Tiragem 1 000 Ex.

Registo ERC 110856

Depósito Legal 51419/91

Periodicidade: 3 x Ano

As opiniões dos autores não representam necessariamente posições da SPF.

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

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

Assinaturas Grátis aos Sócios da SPF.

Olimpíadas de Física 2025



Imagem do cartaz: Computador quântico em Espoo, na Finlândia. 2025 é o Ano Internacional da Ciência e Tecnologia Quânticas.

PROVAS

Regionais: 29/03/2025

Nacionais: 31/05/2025

Internacionais: 7/2026, Colômbia

Ibero-americanas: 9/2026

Escala A: alunos até ao 9.º ano

Escala B: alunos até ao 11.º ano

Inscrições até 9/2/2025

<http://olimpiadas.spf.pt>

A Inteligência Artificial em Física de Partículas: um pouco de história

Nuno Castro

Departamento de Física da Escola de Ciências da Universidade do Minho

LIP – Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas

Divisão de Física de Partículas da Sociedade Portuguesa de Física

Nos anos 60 do séc. XX, as experiências de Física de Partículas começaram a introduzir sistemas digitais de aquisição e processamento de dados. Tal correspondeu a uma revolução na quantidade de dados adquiridos em tempo real. O uso de redes de comunicação cada vez mais rápidas, bem como de microprocessadores e eletrônica dedicada de alto desempenho [1], permitiu aumentar significativamente o volume de dados gerados, dando também origem a novos desafios relacionados com o seu processamento. Na Figura 1, ilustram-se os volumes de dados produzidos atualmente pelas grandes experiências do CERN, o Laboratório Europeu de Física de Partículas, comparando-se com os volumes de dados gerados pelas grandes empresas de Big Data.

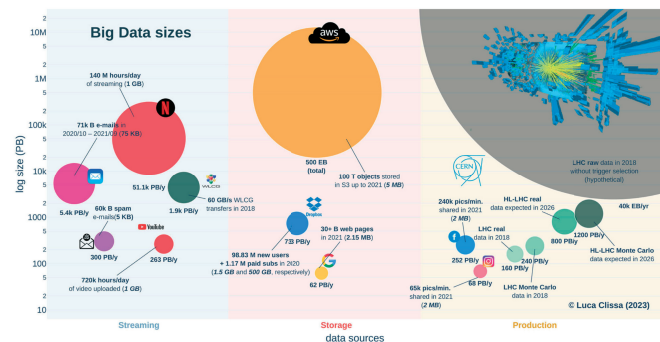


Figura 1: Ordens de grandeza envolvidas em diferentes fontes de dados, para vários intervenientes no sector dos grandes volumes de dados. A área de cada bolha representa a quantidade de dados transmitidos, alojados ou gerados. Figura extraída de [2].

A necessidade de processar, reconstruir e interpretar enormes quantidades de dados obrigou, desde sempre, as experiências de Física de Partículas a recorrerem ao estado da arte da computação e da ciência dos dados. É neste contexto que surge o recurso às tecnologias de Inteligência Artificial.

Com efeito, o início da revolução dos dados em Física de Partículas é temporalmente coincidente com a primeira explosão da aprendizagem automática [3]. Não é, portanto, surpreendente que cerca de duas décadas depois, nos anos 80 do séc. XX, surjam as primeiras propostas de aplicação de Inteligência Artificial a esta área, destinadas a encontrar padrões em dados complexos.

Um dos primeiros exemplos é o artigo de Denby, de 1988 [4], em que é proposto o uso de redes neurais artificiais para reconstrução de traços a partir de pontos experimentais (c.f. Figura 2). Este trabalho inspira-se na proposta de Hopfield e Tank, de 1985, em que é demonstrada a eficácia das redes neurais em problemas com grande complexidade combinatória [5]. Pouco tempo depois, em 1989, Peterson [6] apresenta uma proposta semelhante, onde discute o mesmo problema de reconstrução de traços com redes neurais artificiais, referindo que “ N sinais requerem $O(N(N - 1))$ neurónios [pelo que] o algoritmo proposto não é, portanto, competitivo com as abordagens convencionais quando executado em série”. Refere, no entanto, que a abordagem proposta é inerentemente paralelizável, esperando-se ganhos importantes dessa forma.

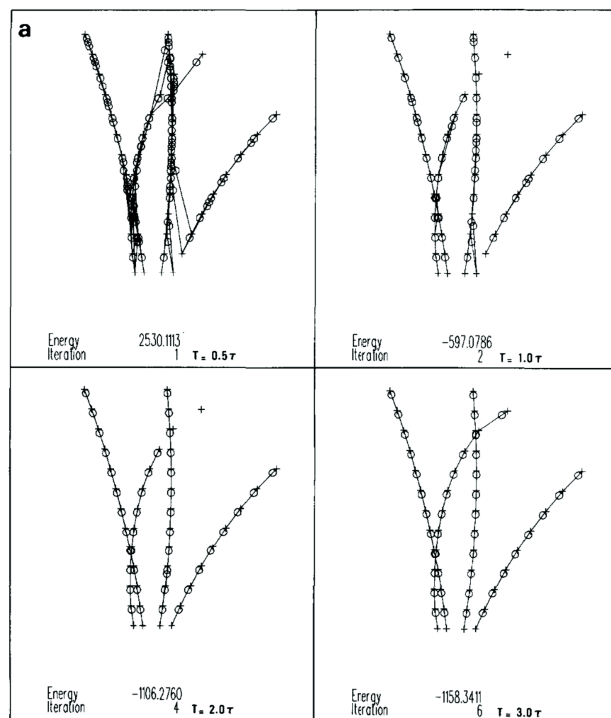


Figura 2: Reconstrução de traços com redes neurais para iterações sucessivas. Neste exemplo, os pontos medidos são representados por cruzes, os neurónios por segmentos que unem os pontos, com um círculo na cabeça do neurónio a indicar a direção. Figura extraída de [4].

Os recursos computacionais necessários não estavam, então, disponíveis, pelo que foi preciso esperar mais cerca de uma década para que as experiências de Física de Partículas começassem a usar de forma sistemática algoritmos de aprendizagem estatística. No entanto, num artigo de revisão de 1999, Denby [7] refere vários casos de uso real ao longo dos anos 90, tais como a classificação de decaimentos do bóson Z pela experiência DELPHI do CERN (1992), a identificação de elétrões pela experiência ZEUS de DESY (1995) ou a medição da massa do recém descoberto quark top, pela experiência D0 do Tevatrão (1997).

Mais recentemente, é de 2009 um dos primeiros exemplos de uma observação experimental apenas possível devido ao uso de técnicas de Inteligência Artificial: a experiência D0 reporta a observação de um processo raro (produção de quarks top isolados, por oposição à produção de pares, que é mais provável), sendo que este resultado apenas foi possível pela utilização de árvores de decisão, previamente treinadas em simulações de Monte Carlo [8], tal como ilustrado na Figura 3.

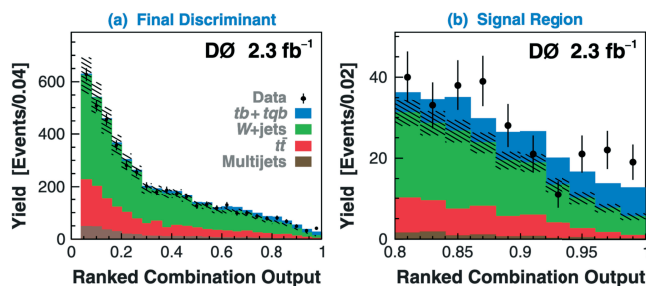


Figura 3: Distribuição da previsão do algoritmo baseado em árvores de decisão (Boosted Decision Trees, BDT, em inglês) usado pela Colaboração D0 na identificação da produção de quarks top isolados para dados e simulação dos vários processos do Modelo Padrão da Física de Partículas. A produção de quarks top isolados (tb+tbq) é representada a azul, enquanto que os histogramas verde, vermelho e castanho correspondem aos processos de fundo. Em (a) vemos a distribuição completa e em (b) a região onde o sinal é mais proeminente. Figura extraída de [8].

Nos últimos 15 anos, o uso de Inteligência Artificial em Física de Partículas generalizou-se, em particular no que respeita a algoritmos de aprendizagem automática. As colaborações experimentais dependem largamente destas técnicas para a seleção e reconstrução em tempo (quase) real dos seus dados, bem como para a sua interpretação. Ao longo da complexa cadeia de aquisição, processamento e análise de dados são usados inúmeros algoritmos de aprendizagem automática. Técnicas semi-supervisionadas e não supervisionadas, por exemplo, têm vindo a ganhar destaque na procura de fenómenos raros ou inesperados. Conseguimos assim aumentar consideravelmente a informação que extraímos dos dados experimentais, expandindo amplamente os resultados ao nosso alcance. De igual forma, também as simulações computacionais e a capacidade que temos de fazer previsões teóricas têm beneficiado significativamente do uso de Inteligência Artificial. Esta é uma área em grande expansão em Física de Partículas, com um número crescente de investigadores a dedicar o seu tempo ao desenvolvimentos de novas e melhores técnicas.

Ao leitor interessado em conhecer as inúmeras aplicações modernas de Inteligência Artificial à Física de Partículas recomendo um dos sítios de referência [9], onde são continuamente atualizadas as publicações nesta área. A Figura 4, daí extraída, ilustra

bem o impressionante crescimento do interesse da comunidade de Física de Partículas em Inteligência Artificial.

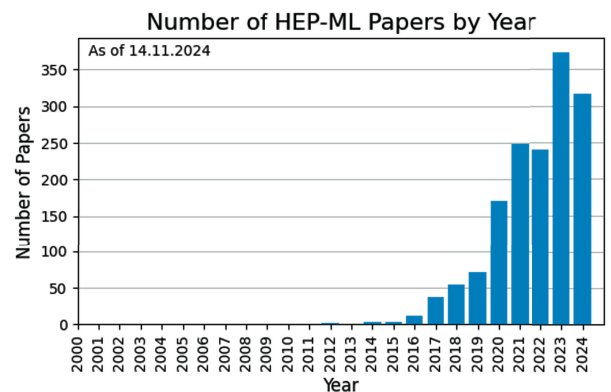


Figura 4: Evolução das publicações referentes a aplicações de aprendizagem automática à Física de Partículas. Os dados de 2024 reportam a novembro desse ano. Figura extraída de [9].

Podemos, em jeito de conclusão, argumentar que a Física das Altas Energias, movida pela necessidade de analisar (crescentemente) grandes quantidades de dados, tem estado no pelotão da frente da utilização em larga escala de técnicas de Inteligência Artificial, contribuindo, também, para a formação das novas gerações de cientistas de dados que, muitas vezes, acabam por desenvolver a sua atividade em contextos diversificados. Tal não significa, naturalmente, que a maioria dos algoritmos em causa tenham sido desenvolvidos no contexto específico da Física de Partículas. Mas é justo dizer que a Física em geral e a Física de Partículas, em particular, fornecem um excelente campo de aplicação para estas técnicas computacionais e que, ao mesmo tempo, a sua especificidade implica, muitas vezes, o desenvolvimento de ideias originais que contribuem para a evolução deste importante ramo transdisciplinar do conhecimento.

Referências

- [1] J. Toledo, F.J. Mora, H. Müller, Past, present and future of data acquisition systems in high energy physics experiments, *Microprocessors and Microsystems*, Volume 27, Issue 8, 2003, [https://doi.org/10.1016/S0141-9331\(03\)00065-6](https://doi.org/10.1016/S0141-9331(03)00065-6).
- [2] L. Clissa, M. Lassnig, L. Rinaldi L, How big is Big Data? A comprehensive survey of data production, storage, and streaming in science and industry, *Frontiers in Big Data* 6, 1271639, 2023, <https://doi.org/10.3389/fdata.2023.1271639>.
- [3] A. L. Fradkov, Early History of Machine Learning, *IFAC-PapersOnLine*, Volume 53, Issue 2, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2020.12.1888>.
- [4] B. Denby, Neural networks and cellular automata in experimental high energy physics, *Computer Physics Communications*, Volume 49, Issue 3, 1988, [https://doi.org/10.1016/0010-4655\(88\)90004-5](https://doi.org/10.1016/0010-4655(88)90004-5).
- [5] J. J. Hopfield, D.W. Tank, "Neural" computation of decisions in optimization problems, *Biological Cybernetics* 52, 1985, <https://doi.org/10.1007/BF00339943>.
- [6] C. Peterson, Track finding with neural networks, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, Volume 279, Issue 3, 1989, [https://doi.org/10.1016/0168-9002\(89\)91300-4](https://doi.org/10.1016/0168-9002(89)91300-4).
- [7] B. Denby, Neural networks in high energy physics: A ten year perspective, *Computer Physics Communications*, Volume 119, Issues 2-3, 1999, [https://doi.org/10.1016/S0010-4655\(98\)00199-4](https://doi.org/10.1016/S0010-4655(98)00199-4).
- [8] Colaboração D0, Observation of Single Top-Quark Production, *Physical Review Letters* 103, 092001, 2009, <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.103.092001>.
- [9] A Living Review of Machine Learning for Particle Physics, <https://iml-wg.github.io/HEPML-LivingReview>.

O que é o tempo?

Augusto Barroso

augusto.barroso@netcabo.pt

O tempo do calendário

Era o fim de uma tarde quente de verão. Estou numa quinta, no Alentejo, sentado à sombra de uma casa. Na minha frente estão duas grandes olaias e uma palmeira, que dá ao conjunto um ar semi-aristocrático. À medida que anoitece observo os pardais: vindos em bando vão saltitando de árvore em árvore até encontrarem os seus ramos para passarem a noite. A noite vai caindo e os pardais sabem que é tempo de dormir.

Para os nossos antepassados, antes do aparecimento da agricultura, há cerca de 12 mil anos, foi esta a sua primeira noção de tempo. O tempo, associado ao movimento de rotação da Terra que, evidentemente, na altura, era associado ao movimento aparente do Sol, que voltava cada dia. Nascia a Leste, percorria o céu e escondia-se a Oeste. Entre cada sucessivo nascimento do Sol, um dia. Quem diria que era a Terra que rodava de Oeste para Leste.

Depois de descoberto este primeiro relógio é bem possível que fosse a periodicidade das fases da Lua, que constituísse o próximo referencial de tempo. Agora entre cada sucessiva Lua Nova teremos um intervalo de cerca de 28 dias, que pode ainda ser dividido em intervalos de 7 dias, correspondentes às quatro fases da Lua. Finalmente, o desenvolvimento de sociedades agrárias levou necessariamente ao reconhecimento da periodicidade das estações do ano. Tínhamos descoberto o ano.

Quando dizemos que o 25 de abril foi há cinquenta anos queremos dizer que, desde esse acontecimento, a Terra deu cinquenta voltas ao Sol. Para termos o calendário como hoje o conhecemos foram precisos ainda várias melhorias tais como a divisão do ano em meses e, acima de tudo, resolver o problema de que cada ano não tem um número inteiro de dias. Mais fácil foi resolver o problema de fixar o ano 1. Como se trata de uma escolha arbitrária, várias civilizações fizeram-no de forma diferente. Entre nós é usual fixar o ano 1 como o que é atribuído ao nascimento de Jesus Cristo. Faz agora todo o sentido dizer que a 23 de maio de 1179, uma bula do Papa Alexandre III reconheceu, a Afonso Henriques e aos seus sucessores, o direito a intitular-se reis de Portugal.

Santo Agostinho, bispo da cidade africana de Hipona, viveu na viragem do século IV para o século V. Nas "Confissões", uma das suas obras mais conhecida, diz que sabe o que é o tempo, mas

se alguém lhe perguntar e tiver que explicar, então já não sabe. Esta é talvez uma das mais citadas referências do teólogo. Contudo, para mim, a passagem mais relevante é quando ele pergunta: O que fazia Deus antes de criar o mundo? E responde: "Se, porém, antes do céu e da terra não havia tempo algum, porque perguntam o que fazias então? Não poderia haver então se não existia o tempo." Agostinho estava preocupado com a possível ociosidade de Deus. Eu acho interessante sublinhar que a sua resposta não é diferente da dada pela cosmologia moderna. O Universo começou num big bang que ocorreu há cerca de 13,8 mil milhões de anos. Foi então que começou o tempo.

A esta noção de tempo vou chamar o tempo do calendário. Mas há outras, como veremos.

Movimento

Imagine que a leitora vai a Nova York. Partiu do aeroporto Humberto Delgado a meio da tarde, o avião ganhou a sua altitude de cruzeiro e está um tempo magnífico. A tripulação serviu-lhe uma refeição, fechou as cortinas das janelas e diminuiu as luzes da cabine. A minha estimada leitora inclinou a cadeira e começa a ver um filme do seu agrado. Nestas circunstâncias, nada lhe garante que está em movimento em vez de parada. Bem sei que ouve o ruído dos motores e, como não perdeu a memória, sabe que vai a caminho da América. Lembra-se de ter descolado de Lisboa e pouco depois viu a linha da costa portuguesa. O que eu quero dizer é que não existe nada, nenhuma experiência que possa fazer a bordo que evidencie que voa a cerca de 800 km por hora, sobre o oceano Atlântico. Qualquer experiência que possa fazer no interior do avião dará o mesmo resultado que daria se o avião estivesse parado na pista do aeroporto. Parado ou com velocidade constante são equivalentes. A isto chama-se o princípio de inércia.

É por causa desta equivalência que a humanidade levou milhares de anos até se convencer que a Terra não estava parada, no centro do Universo, mas que se desloca à volta do Sol com uma velocidade que, em média, é de cerca de 30 km/s. Um observador, que se situasse fora do plano da órbita e a Norte, veria a Terra a descrever uma elipse, quase circular, deslocando-se no sentido contrário ao do movimento dos ponteiros de um relógio. A Terra roda deixando sempre o Sol à sua esquerda! Até parece um slogan de publicidade política!

Voltemos á nossa viagem de avião. Seja v a velocidade do avião em relação ao ar, os tais 800 km/h. Mas imaginemos que existe um vento de cauda, com a velocidade v' . A velocidade do avião em relação ao solo será a soma. Se designarmos por ℓ a distância a percorrer, o tempo gasto no percurso será:

$$(1) \quad \Delta t = \frac{\ell}{v+v'}$$

Imaginemos que, na viagem de regresso, apanhamos vento com a mesma velocidade, mas de frente. O tempo da viagem será.

$$(2) \quad \Delta t' = \frac{\ell}{v-v'}$$

O tempo total para o percurso de ida e volta, será evidentemente a soma, o que dá:

$$(3) \quad \Delta T = \Delta t + \Delta t' = \frac{2\ell}{v(1-\beta^2)}$$

Por razões que serão claras nos próximos parágrafos, fizemos

$$(4) \quad \beta = \frac{v'}{v}$$

Sem vento, em qualquer das viagens, o tempo total das viagens será evidentemente $2\ell/v$, que é o valor que se obtém da equação anterior quando $\beta=0$.

Pergunta: Em que condições é que a viagem de ida e volta é mais rápida? Quando não existe vento. Talvez um exemplo a ajude a convencer-se. Para uma velocidade do vento de 120 km/h, $\beta=0,15$. O que dá uma duração da viagem de ida e volta cerca de 2,2% maior. O que ganhamos com vento de cauda não compensa o que vamos perder quando o vento é de frente. Se acertou na resposta sem ter feito a conta parabéns. Tem uma boa intuição. Antes de deixar este exemplo do avião, que será muito útil no próximo capítulo, quero recordar-lhe que no Atlântico Norte o vento dominante é de Oeste para Leste. Se já foi a Nova York lembra-se, com certeza, que a viagem de regresso a casa demorou menos.

Referenciais

Vamos imaginar que queremos estudar o movimento de uma bola de bilhar em relação à mesa. Agora já sabemos que o movimento é sempre relativo. O que devo fazer? Coloco duas réguas graduadas, por exemplo em centímetros, uma colocada no sentido do comprimento da mesa e outra no sentido da largura. No ponto onde as réguas se cruzam, marco o zero de cada régua. A primeira vou designar por eixo dos x e a outra por eixo dos y . Cada posição da bola fica agora bem especificada por um par de números, que são as suas coordenadas sobre a mesa. Para além disto, precisamos também de um relógio. À medida que o tempo vai passando, se a bola se mover, vai ocupar diferentes posições, cada uma especificada pelo seu par de coordenadas. Em rigor, não preciso de um relógio. É melhor usar um cronómetro, pois pouco importa se inicio a minha experiência às 15 horas ou às 17 horas e 23 minutos.

Nem todos os movimentos ocorrem num plano. Vivemos num espaço tridimensional e, por isso, no caso mais geral, vamos precisar de outro eixo, perpendicular aos dois anteriores e com o zero no mesmo ponto do cruzamento, que designarei por ponto O .

Estar, por exemplo, no instante $t=5$ no ponto $x=1$, $y=2,8$ e $z=-3,9$ é o que em Física se designa por um acontecimento, i. e., estar num certo instante num certo sítio.

Agora já sabemos o que é um referencial de inércia: são três réguas perpendiculares entre si, com o zero no ponto O e um cronómetro.

Consideremos um observador, a Ana, que está em repouso no referencial anterior a que chamaremos referencial S . Um outro observador, o Bruno, está em movimento, com velocidade constante, v ao longo do eixo dos x . Ele adota um referencial S' onde cada acontecimento é descrito por t' , x' , y' e z' . Ver Fig. 1. O que pretendemos agora é analisar como é que a Ana e o Bruno descrevem o mesmo movimento de uma bola, por exemplo. Para facilitar a comparação, os dois concordaram em sincronizar o instante zero dos seus cronómetros quando o ponto O' coincide com O . Nesse instante, para qualquer ponto as três coordenadas em S' são iguais às respetivas coordenadas em S , não é verdade? Isto continuará a ser verdade, para todos os instantes para as coordenadas segundo os eixos y' e z' . Mas para x' teremos $x = x' + vt'$. Em resumo, o dicionário que relaciona os dois referenciais de inércia é:

$$(5) \quad \begin{aligned} t' &= t \\ x' &= x - vt \\ y' &= y \\ z' &= z \end{aligned}$$

Estas relações designam-se por transformada de Galileu, em homenagem a Galileu Galilei (1564-1642) professor na Universidade de Pádua, um dos mais importantes físicos e astrónomos da era moderna.

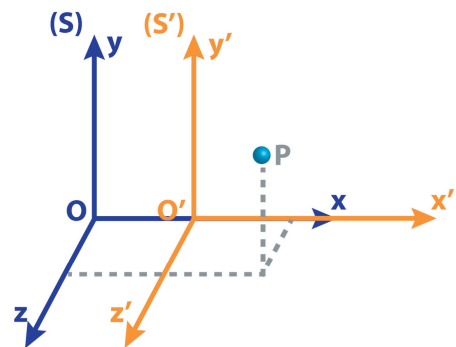


Figura 1 - S' move-se em relação a S com velocidade constante v , ao longo do eixo dos x . No instante t a distância OO' é vt .

Na língua portuguesa a palavra velocidade designa duas grandezas que são diferentes. Essas duas grandezas designam-se em inglês como *speed* e *velocity*. Quando dizemos que o limite de velocidade é de 50 km/h estamos a referir-nos à *speed*. Em português o mais correto seria dizer o módulo da velocidade. Mas ninguém diz. A velocidade (*velocity* em inglês) não é apenas um número. É uma grandeza que tem direção e sentido. É na realidade especificada por três números, que são as suas componentes

segundo os três eixos (ver anexo 1). Nos automóveis, o que é indicado no mostrador em frente do condutor é a *speed*. Para saber a *velocity* o condutor usa, além desta informação, os seus olhos para saber qual é a direção do movimento do carro.

Voltemos aos nossos dois observadores. Bruno descreve o movimento de um móvel determinando, em função do tempo, as suas posições, i.e., determina $x'(t')$, $y'(t')$ e $z'(t')$. A derivada destas funções são as componentes do vetor velocidade, que designaremos por v'_x , v'_y e v'_z . Das equações (5) obtemos a lei de composição das velocidades:

$$(6) \quad \begin{aligned} v'_x &= v_x - v \\ v'_y &= v_y \\ v'_z &= v_z \end{aligned}$$

Temos, deste modo, a relação entre as componentes do vetor velocidade, medidas pelo Bruno e as correspondentes componentes do vetor velocidade, medidos pela Ana. Foram estas relações que usámos no exemplo do voo para Nova York. Em particular, nesse exemplo, as componentes do vetor velocidade segundo os eixos dos y e dos z eram zero e só a primeira das equações (6) foi usada. Neste caso, e só neste caso, a *speed* coincide com a *velocity*!

A velocidade da Luz

No final do século XIX sabia-se que a luz era uma onda. Assim como as ondas sonoras se propagam no ar, pensava-se que existia um fluido, chamado éter, no qual as ondas luminosas se propagavam. Como a luz do Sol e das estrelas mais longínquas chega até nós, este éter deveria estar por toda a parte.

Imagine que dispunha de um feixe de luz laser. Pode ser um desses ponteiros eletrónicos que agora substituíram os ponteiros de madeira do meu tempo de escola. Tinha medido que a velocidade da luz desse laser no seu laboratório era c . Agora levava o seu ponteiro laser na viagem a Nova York e quando o avião seguia com velocidade constante, v , sobre o Atlântico, ligava o laser e apontava-o na mesma direção e sentido do movimento do avião. Pergunta: em relação ao solo qual será a velocidade da luz? Usando o mesmo raciocínio do capítulo 2, a resposta deve ser $c+v$.

Para verificarem se isto era assim ou não, dois físicos americanos, Albert Michelson (1852-1931) e Edward Morley (1838-1923), realizaram em 1887 uma experiência do tipo da que lhe acabei de sugerir com o avião. Usaram um dispositivo, chamado interferómetro e o avião era a Terra no seu movimento em torno do Sol.

O interferómetro é um equipamento que tem uma fonte de luz. Esta luz incide num dispositivo (*beam splitter*) que separa o feixe luminoso incidente em dois feixes: Um segue em frente e o outro é desviado numa direção perpendicular. Ambos os feixes percorrem a mesma distância l e incidem num espelho. São refletidos e voltam a percorrer a mesma distância até ao beam splitter, onde são sobrepostos. (ver Fig. 2). Quando duas ondas são sobrepostas, a onda resultante é extremamente sensível a qualquer pequena diferença entre as duas. Por exemplo, no limite em que aos picos de uma das ondas correspondam os vales da outra

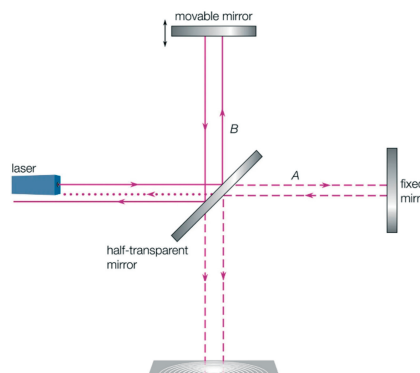


Figura 2 - Esquema de um interferómetro.

existirá extinção. Se pelo contrário os picos das duas ondas coincidirem exatamente a onda resultante terá uma amplitude dupla.

Michelson e Morley fizeram o seguinte: alinharam um dos braços do interferómetro na direção Oeste-Leste; o outro ficou, evidentemente, orientado na direção Norte-Sul. Quanto tempo levou a luz a percorrer o braço O-E? Basta copiar o resultado da equação (3), atendendo a que agora a velocidade v é c e $\beta=v/c$, isto é:

$$(7) \quad \Delta T = \frac{2\ell}{c(1-\beta^2)}$$

E quanto tempo demorou a luz a percorrer o braço N-S? Se a sua resposta foi

$$\Delta T' = \frac{2\ell}{c}$$

lamento, mas está errado. Contudo, está em boa companhia. Esse mesmo erro foi feito pelos dois físicos norte americanos. A resposta correta foi dada pela primeira vez pelo físico holandês H. Lorentz (1853-1928). Quando a luz do braço N-S caminha para o espelho, é preciso ter em conta que o espelho se está a mover, com a velocidade v . A luz segue uma trajetória que é a hipotenusa de um triângulo retângulo, cujos catetos são l e $\Delta t v$. (ver Fig.3). Como no regresso do espelho a luz também encontra o beam splitter deslocado da mesma distância, o resultado é:

$$(8) \quad \Delta T' = \frac{2\ell}{c\sqrt{1-\beta^2}}$$

A diferença entre os tempos de percurso da luz nos dois braços do interferómetro era suscetível de ser medida. Contudo, Michelson e Morley não mediram qualquer diferença. Repetiram a sua experiência durante alguns anos, introduzindo sucessivas melhorias nos seus equipamentos e o resultado foi sempre negativo.

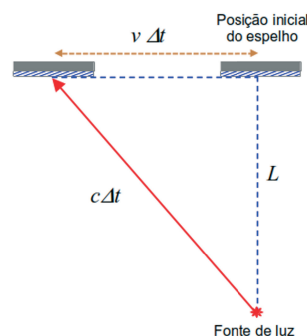


Figura 3 - Quando a luz se desloca para o espelho com velocidade c o espelho move-se com velocidade v .

Posteriormente, outros físicos repetiram esta experiência e o resultado foi sempre o mesmo.

A evidência experimental indica que, em qualquer referencial de inércia, a luz se propaga, no vazio, com a mesma velocidade em módulo. Nesta frase sublinhei algumas palavras que são cruciais. Quando digo luz não é só a luz visível. Pode ser raios X, ondas de rádio, de TV, radar, etc. No vazio significa no espaço onde não existe matéria, por oposição à água, por exemplo, ou até mesmo ao ar. Embora no ar a velocidade da luz seja praticamente igual à do vazio. O que é constante é o módulo da velocidade, o seu valor é:

$$(9) \quad c = 299792458 \frac{m}{s}$$

O valor desta constante é conhecido com tanta precisão que foi adotado para definir o metro. Desde 1983, o metro é a distância percorrida pela luz, no vazio, em 1 a dividir por 299792458 do segundo. Se quiser uma ordem de grandeza a luz anda cerca de um metro em 3 nanossegundo (10^{-9} s).

Gostaria de terminar este capítulo convidando os meus leitores a verificarem que:

$$(10) \quad \Delta T - \Delta T' = \frac{\ell}{c} \beta^2$$

Se multiplicarmos ambos os membros desta equação por c , temos a diferença dos comprimentos de onda das duas ondas. O que, para um interferómetro com um braço de 1 m, daria uma diferença de 10 nm. Este número dá-nos uma ideia da precisão que é preciso ter neste tipo de experiências.

A transformação de Lorentz

No capítulo anterior aprendemos que c , cujo valor no sistema internacional de unidades é dado pela relação (9), é o mesmo em todos os referenciais de inércia. Como esta afirmação vai ter uma implicação profunda no nosso conceito de tempo, vou voltar a pedir a colaboração da Ana e do Bruno para fazer mais uma hipotética experiência.

Vamos para Monte Real onde existe uma base da Força Aérea Portuguesa (FAP). A Ana posiciona-se a meio da pista, escolhe esse ponto para a origem do seu referencial, a que chamarei S_A , escolhe para eixo dos x , uma reta ao longo da pista, para eixo dos y escolhe uma reta, perpendicular à primeira, segundo a largura da pista e o eixo dos z é perpendicular à pista. A Ana também tem um cronómetro e deste modo está habilitada a determinar as coordenadas espaçotemporais de qualquer acontecimento: t, x, y, z .

Entretanto, o Bruno pede emprestado um F16 à FAP. Satisfeito o pedido, estaciona o avião, no sítio onde está a Ana, e dispara um míssil, paralelo à pista, no sentido positivo do eixo dos x . Ambos medem a velocidade do míssil e concordam que essa velocidade é v_B . Posto isto, o Bruno levanta voo, dá algumas voltas para se ambientar e passa sobre a pista em voo com velocidade constante v . A certa altura, mantendo sempre o avião com velocidade constante, Bruno dispara outro míssil exatamente igual ao anterior. A Ana dirá que, para ela, isto é, no seu referencial de inércia, a velocidade do míssil é v_A , dada por:

$$(11) \quad v_A = v_B + v$$

Terminada esta experiência, o Bruno regressa à base e aterra. Mas agora pedem à FAP que substitua o lançador de mísseis por um laser. Satisfeito, mais uma vez, o pedido, vão repetir a experiência anterior. Disparam o laser com o avião parado e medem c_B . Depois, o Bruno dispara o laser quando o avião voa sobre a pista com velocidade constante v e a Ana vai medir a velocidade da luz do laser, no seu referencial, e o resultado é:

$$(12) \quad c_A = c_B$$

Como compatibilizar as relações (11) e (12)? Como compreender que o que é válido para o míssil não é válido para a luz? E como compatibilizar este novo conhecimento com a transformação de Galileu, eqs. (5) e a lei das velocidades, eqs. (6)? A procura de respostas para estas perguntas ocupou vários físicos no final do século XIX tais como, H. Lorentz, G. FitzGerald (1851-1901) e H. Poincaré (1854-1912). Mas foi o célebre físico Albert Einstein (1879-1955) quem deu o contributo mais relevante para este problema [1].

Comecemos pela lei das velocidades. É fácil ver que as eqs. (6) são incompatíveis com uma velocidade que é igual nos dois referenciais. Pode demonstrar-se (ver anexo 2) que a forma correta das eqs. (6) é a seguinte:

$$(13) \quad \begin{aligned} v'_x &= \frac{v_x - v}{1 - \frac{v_x v}{c^2}} \\ v'_y &= \frac{1}{\gamma} \frac{v_y}{1 - \frac{v_x v}{c^2}} \\ v'_z &= \frac{1}{\gamma} \frac{v_z}{1 - \frac{v_x v}{c^2}} \end{aligned}$$

Nestas equações, γ é uma constante dada por:

$$(14) \quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}$$

E β é já nossa conhecida. É a razão entre a velocidade relativa dos dois referenciais de inércia e a velocidade da luz, i. e.

$$\beta = \frac{v}{c}$$

Sugiro que os leitores verifiquem o que acontece quando no referencial S as componentes do vetor velocidade são: $v_x=c$; $v_y=v_z=0$. O que obtemos é $v'_x=c$; $v'_y=v'_z=0$. Por outras palavras, esta nova lei de composição das velocidades é compatível com a luz ter a mesma velocidade nos dois referenciais de inércia. Também gostaria de lhe mostrar que, para velocidades pequenas quando comparadas com a velocidade da luz, as eqs. (6) são uma excelente aproximação das eqs. (13). Para isto o melhor é usar um exemplo. Antes disso vou inverter as eqs (13). Em vez de ter as componentes da velocidade no referencial S' em função das respetivas componentes da velocidade do mesmo móvel no referencial S , agora quero ter ao contrário, as velocidades em S em função das velocidades em S' .

O resultado é:

$$(15) \quad \begin{aligned} v_x &= \frac{v'_x + v}{1 + \frac{v'_x v}{c^2}} \\ v_y &= \frac{1}{\gamma} \frac{v'_y}{1 + \frac{v'_x v}{c^2}} \\ v_z &= \frac{1}{\gamma} \frac{v'_z}{1 + \frac{v'_x v}{c^2}} \end{aligned}$$

Não precisa saber muita matemática para inverter as equações (13). Basta trocar v em $-v$.

Voltemos agora à experiência com o F16. Na forma (15) temos a velocidade no referencial fixo, o da Ana, em função do referencial do Bruno. Um F16 pode voar a cerca de 2400 km/h. E admitamos que o míssil que o Bruno dispara voa a 3000 km/h. Nestas condições o denominador da primeira das eq. (15) é

$$1 + \frac{v'_x v}{c^2} = 1 + 6,2 \times 10^{-12}$$

É por este número ser tão próximo de 1 que, durante muito tempo, não nos demos conta que a lei de composição de velocidades dada pelas eqs. (6) não estava certa. Mas está quase certa. Isto é, mesmo no nosso exemplo do míssil disparado pelo Bruno, a Ana poderá continuar a dizer que a velocidade do míssil em relação ao solo é de 5400 km/h. Em 5400 km/h que são 1500 m/s estará a fazer um erro de 9 nm/s!

Quando o Bruno fizer a experiência com o laser, terá $v'_x=c$ e $v'_y=v'_z=0$. Espero que a leitora verifique que a Ana medirá $v_x=c$ e $v_y=v_z=0$. Mas imagine que o Bruno resolve que, em vez de disparar o laser para a frente, no sentido do movimento do F16, resolve disparar para o lado, na direção perpendicular à do movimento. Então teremos: $v'_x=c$ e $v'_y=v'_z=0$. Qual será, neste caso, a velocidade da luz medida pela Ana? A substituição destes valores na eq. (15) dá:

$$(16) \quad \begin{aligned} v_x &= v \\ v_y &= \sqrt{1 - \beta^2} c \\ v_z &= 0 \end{aligned}$$

Este resultado é extremamente importante. Para a Ana o vetor velocidade da luz não tem apenas componente segundo o eixo dos y . Tem também segundo x . Basta esta constatação para verificar **que o vetor velocidade da luz não é igual nos dois referenciais de inércia**. Mas o que tem de ser igual é o módulo do vetor velocidade. O módulo de um vetor é a raiz quadrada da soma dos quadrados das componentes. Olhe para as eqs (16), faça os quadrados das componentes e some. Obtém c !

Estas novas leis de composição de velocidades estão em flagrante contradição com a transformação de Galileu dada pelas eqs. (5). Aliás, todas as leis do eletromagnetismo estão em completo desacordo com a transformação da Galileu. No final do século XIX tinha-se percebido que a luz, todas as formas de luz, são ondas eletromagnéticas. Hoje já todos ouvimos falar de campo elétrico e de campo magnético. Um campo elétrico variável no tempo induz um campo magnético também variável no tempo. A onda luminosa é este diálogo entre os campos a caminhar pelo

espaço.

O dicionário entre as coordenadas do mesmo acontecimento em dois referenciais de inércia, compatível com as leis do eletromagnetismo é dado pela transformação de Lorentz. Assim, em vez de (5) teremos:

$$(17) \quad \begin{aligned} ct' &= \gamma(ct - \beta x) \\ x' &= \gamma(x - \beta ct) \\ y' &= y \\ z' &= z \end{aligned}$$

Comparemos as eqs. (17) com as eqs. (5). As duas últimas são iguais. Faz sentido porque o movimento relativo dos dois referenciais faz-se ao longo do eixo dos x . A segunda destas equações, a referente à coordenada espacial, é quase igual. Difere pela constante gama. Mesmo para uma velocidade como a do F16 das nossas experiências, temos $\gamma=1+2,5 \times 10^{-12}$. Mais uma vez o resultado não relativista é excelente. O mais surpreendente é a primeira das eqs. (16). Contrariamente à transformação de Galileu o tempo não é o mesmo nos dois referenciais de inércia. O tempo deixou de ser absoluto!

Tal como fizemos para a transformação de Galileu, podemos inverter as equações (17). O resultado é:

$$(18) \quad \begin{aligned} ct &= \gamma(ct' + \beta x') \\ x &= \gamma(x' + \beta ct') \\ y &= y' \\ z &= z' \end{aligned}$$

A aplicação à mecânica das eqs. (17) e (18), feita por Einstein, designa-se por teoria da relatividade restrita.

A dilatação do tempo

No capítulo anterior apresentámos aquilo que chamei de dicionário: as relações que nos permitem obter as coordenadas espaço-temporais de um acontecimento no referencial S sabendo as respectivas coordenadas em S' ou vice-versa. Vamos agora usá-las, pois só assim podemos apreciar o seu significado. Consideremos em S' dois acontecimentos. O acontecimento A com coordenadas t'_A, x'_A, y'_A, z'_A e o acontecimento B com coordenadas t'_B, x'_B, y'_B, z'_B . As diferenças entre as coordenadas homónimas são:

$$\begin{aligned} \Delta t' &= t'_B - t'_A \\ \Delta x' &= x'_B - x'_A \\ \Delta y' &= y'_B - y'_A \\ \Delta z' &= z'_B - z'_A \end{aligned}$$

Imaginemos que os dois acontecimentos ocorrem no mesmo ponto do espaço, mas em instantes diferentes, i. e. $\Delta x'=\Delta y'=\Delta z'=0$ mas $\Delta t' \neq 0$. As transformações (18) também são, evidentemente, válidas para os deltas. Aplicadas a este caso dão:

$$\begin{aligned} c\Delta t &= \gamma c\Delta t' \\ \Delta x &= \gamma \beta c\Delta t' \\ \Delta y &= \Delta z = 0 \end{aligned}$$

Os dois acontecimentos ocorrem, no referencial S' , no mesmo ponto do espaço. Mas não acredito que a leitora fique surpreendida por verificar que no referencial S não ocorrem no mesmo ponto. Basta pensar que S' está em movimento com velocidade v em relação a S .

Pensemos que o referencial S' é um comboio que se move na linha do Norte. Os dois acontecimentos são o mesmo passageiro, sentado, que olha para o seu cronómetro em dois instantes com uma diferença $\Delta t'$ de meia hora, por exemplo. Como o alfa pendular segue, na lezíria do Tejo, com uma velocidade constante de 150 km/h para o passageiro fixo na estação o Δx é de 75 km. Para além do fator de correção relativista γ é isto que a segunda das equações anteriores nos está a dizer.

Mas o mais interessante é que a primeira das equações mostra que, para o observador na estação, o intervalo de tempo Δt não é igual a $\Delta t'$. Temos:

$$\Delta t = \gamma \Delta t' \quad (20)$$

O intervalo de tempo medido pelo cronómetro no referencial em que ele está em repouso, chama-se tempo próprio. No nosso caso, o cronómetro está em repouso em S' . Como o fator γ é sempre maior que 1, o que a eq. (20) mostra é que, para o observador em repouso, o intervalo de tempo é maior. Por esta razão é usual designar a eq. (20) como a dilatação do tempo.

Não vou calcular qual a dilatação do tempo para o exemplo do alfa pendular. Recorde que mesmo para o exemplo do F16 já vimos que o γ é só 10^{-12} maior do que 1. Então, para um $\Delta t'$ de 5 dias o Δt é cerca de 1 microssegundo maior do que 5 dias! Sendo assim imagino que alguns dos leitores estejam a pensar: quem é que preocupa com tamanha chicesice? Na verdade, o que acontece é que a maioria dos meus leitores só tem a experiência de velocidades muito pequenas quando comparadas com a velocidade da luz. Mas existem partículas que se deslocam com velocidade incrivelmente próximas de c . Vejamos um exemplo.

No laboratório do CERN, que se situa perto de Genebra, na fronteira entre a Suíça e a França, existe um acelerador chamado LHC (*Large Hadron Collider*). Nesta máquina, feixes de prótons atingem energias de 7 TeV (7×10^{12} eV) [2]. Sabendo a energia e a massa do próton facilmente se pode calcular o γ , usando a fórmula relativística mais conhecida, que é:

$$\mathcal{E} = \gamma mc^2 \quad (21)$$

Na maior parte das vezes, esta equação, que até já foi capa de um número da revista Time [3], aparece escrita sem a constante γ . É verdade, aparece escrita para o caso particular da massa estar em repouso, ou seja, quando o γ é um. Mas, como eu escrevi é o caso geral. Usando a equação (21) e sabendo que para um próton se tem $mc^2 = 938$ MeV (938×10^6 eV), obtemos

$\gamma = 7462$. Com este valor deve ser fácil observar a dilatação do tempo! Pois é. Mas os prótons do LHC não levam um cronómetro para marcar o seu tempo próprio. Tem toda a razão. Por isso vou terminar este capítulo com um exemplo que responde a esta objeção.

Os muões são partículas como os eletrões, mas que têm uma massa cerca de duzentas vezes maior. São eletrões obesos. Talvez devido à sua obesidade são instáveis. Decaem dando origem a um eletrão e dois neutrinos. A sua vida média, medida no seu referencial em repouso é de $2,2 \times 10^{-6}$ s. Com esta duração de vida, mesmo que se deslocassem com a velocidade da luz, o que é impossível, só poderiam percorrer uma distância de cerca de 660 m. Contudo, sabemos que nas altas camadas da atmosfera, a dezenas de quilómetros, se formam muitos muões e a sua esmagadora maioria atinge o nível do mar. Na verdade, ao nível do mar por cada centímetro quadrado de superfície deteta-se, em média, um muão por minuto. A energia típica destes muões é da ordem dos 2 GeV (2×10^9 eV). Espero que todos os meus leitores verifiquem, usando a eq. (21), que $\gamma = 18,9$. Agora, a dilatação do tempo, eq. (20), transforma os 2,2 microssegundos em 41,6 microssegundos e os muões percorrem cerca de 12,5 km. Faltou dizer que, para o muão, $mc^2 = 105,6$ MeV.

A gravidade também muda o tempo

Todos aprendemos na escola a lei da atração gravítica cujo enunciado é: a matéria atrai matéria na razão direta das massas e na razão inversa do quadrado da distância entre elas. Esta formulação da teoria da gravitação foi feita, pela primeira vez, por Sir Isaac Newton (1643 -1727), famoso físico inglês, nos finais do século XVII. Com base nela podemos, com a mesma facilidade, explicar o movimento dos planetas e a queda de uma pedra na Terra. Tem, contudo, um grande defeito: é uma teoria estática, nela não aparece o tempo. O Sol atrai a Terra. Mas, se o Sol desaparecesse, quanto tempo depois é que a Terra saberia que isso tinha acontecido? A resposta dada pela teoria de Newton é instantaneamente. Mas todos sentimos que não deve estar certa. A luz leva cerca de oito minutos para chegar do Sol à Terra, como é que a interação gravítica pode ser instantânea?

No início do século XX e na continuação dos trabalhos sobre a teoria da relatividade restrita, Einstein desenvolveu uma nova teoria da gravitação. A ideia básica é que a presença de uma grande massa, como o Sol, por exemplo, deforma o espaço-tempo. O desaparecimento brusco do sol ou, mais realisticamente, o choque de duas estrelas, provoca alterações desta deformação. A propagação destas rugas do espaço-tempo são as ondas gravitacionais, que foram detetadas diretamente, pela primeira vez, em 2015.

Anteriormente, vimos que, $\Delta t \neq \Delta t'$, porque um dos observadores se desloca relativamente ao outro com uma certa velocidade. Agora, com base na nova teoria da gravitação, dois observadores, ambos parados, medem intervalos de tempo diferentes se estiverem a distâncias diferentes da massa que cria o campo gravítico. A distância diferente, o espaço-tempo tem uma deformação diferente. Estará tão menos deformado quanto mais longe estivermos da massa que cria o campo. Se estivermos muito afastados o espaço-tempo é plano. Tanta vez repeti a expressão espaço-tempo que devo ter aborrecido alguns dos meus leitores.

res. Desculpem. Não queria que tivessem qualquer dúvida que não era só o espaço que fica curvo. Se voltar atrás às eqs. (17) verificará que já na relatividade restrita o espaço e o tempo estão inexoravelmente *misturados*.

Está na altura de fazermos mais uma experiência. Para isso temos de ir para Genebra e levar os nossos colaboradores, a Ana e o Bruno. Porquê Genebra? Porque é uma cidade tranquila e muito agradável e, além disso, prestaremos uma homenagem à excelente indústria suíça de relojoaria. Vamos comprar dois cronómetros. Um ficará com a Ana à beira do lago Léman e o Bruno levará o outro para o topo do Monte Branco.

A previsão, baseada na relatividade geral, é que o intervalo de tempo medido pelo Bruno, está relacionada com o intervalo de tempo medido pela Ana, pela relação:

$$(22) \quad \Delta t_B = (1 - \frac{1}{2} \Delta \beta_G) \Delta t_A$$

Em que

$$(23) \quad \Delta \beta_G = \frac{2GM}{c^2 R} \frac{h}{h+R}$$

Nesta equação $G=6,674 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$ é a constante gravítica, $M=5,972 \times 10^{24} \text{ kg}$ é a massa da Terra, $R=6371 \text{ km}$ o seu raio e h a altitude do segundo observador. O primeiro está à altitude zero. No caso presente, h é a altitude do Monte Branco, 4809 m. Substituindo os valores obtemos:

$$\Delta t_B - \Delta t_A = -4 \times 10^{-13} \Delta t_A$$

Um século são $3 \times 10^9 \text{ s}$. Seria preciso esperar um século para que os cronómetros da Ana e do Bruno apresentassem uma diferença de 1 milissegundo! Mais uma vez a Ana e o Bruno não vão medir nada.

Talvez os meus leitores estejam a pensar que a teoria de Einstein só é útil para quem estuda buracos negros e outros efeitos exóticos. Se estivesse a escrever estas notas antes dos anos oitenta do século passado teria de concordar com quem assim pensasse. Mas agora não concordo.

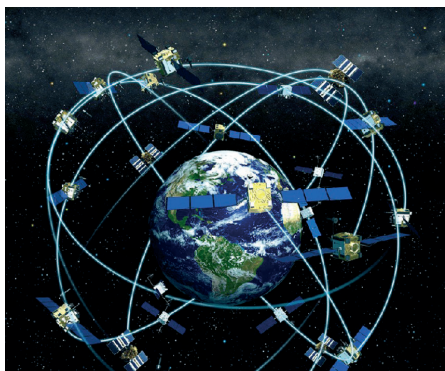


Figura 4 – A Terra rodeada pelos satélites do GPS. Cortesia da NASA science.

Hoje cada um de nós leva no bolso um pequeno computador, usualmente chamado telemóvel, que nos permite determinar a nossa posição com um erro de poucos metros. Como é do conhecimento geral esta determinação é feita utilizando um sistema de 24 satélites que, a uma altitude de cerca de vinte mil quilómetros, orbitam a Terra, de modo que, em cada ponto, pelo menos

quatro satélites sejam sempre visíveis. Ver Fig.4. Estes satélites estão equipados com relógios de grande precisão, da ordem do nanossegundo, e cada um deles transmite um sinal horário e dados sobre a sua localização. Os nossos telemóveis usam a informação recebida de vários satélites, normalmente quatro ou cinco, e por triangulação determinam onde estamos. Deixo ao cuidado dos leitores verificarem que, por efeito da gravidade, ao fim de um dia o relógio de cada um dos satélites apresentaria um desvio de menos 46 microssegundos em relação aos relógios no solo. Além deste efeito, teremos também que considerar o efeito da velocidade do satélite. Como estes satélites têm velocidades da ordem de 4 km/s, o tempo no satélite ao fim de um dia é 8 microssegundos maior. No total teremos, por dia, um desvio de menos 38 microssegundos. Esta diferença, se não fosse tida em conta, inviabilizaria a utilização do GPS.

Este é um bom ponto para pôr termo a esta digressão pelo conceito de tempo. Para velocidades pequenas comparadas com a velocidade da luz no vazio e para altitudes pequenas comparadas com o raio médio da Terra, pode pensar que o tempo é absoluto. Este é o tempo a que chamei tempo do calendário. Bastava o sino do campanário da aldeia para marcar a sua passagem. Nas situações em que qualquer das hipóteses anteriores deixar de ser válida, o tempo já não é universal. Quando o campanário foi substituído pelo telemóvel estes efeitos tornaram-se importantes para todas as pessoas.

Posfácio

Escrevi este artigo para os amigos da física. Os apêndices contêm alguns detalhes que poderão ser úteis para estudantes do fim do ensino secundário e início da universidade. Um desenvolvimento mais detalhado do assunto aqui tratado pode ser encontrado em dois artigos de Paulo Crawford do Nascimento e Ana Isabel Simões, *Gazeta de Física*, vol. 9 pág. 36 e pág. 49, 1986. Quem pretender saber mais sobre ondas gravitacionais e buracos negros deve ler o artigo de José Sande Lemos, Carlos Herdeiro e Vítor Cardoso, publicado na mesma revista no vol. 42, pág. 36, 2019.

Aos colegas, Conceição Abreu e João Paulo Silva e à minha mulher, Maria José Barroso, agradeço a leitura crítica do manuscrito.

Augusto Barroso

Anexo 1

Num referencial de inércia, a posição de um móvel é dada pelo vetor r cujas componentes são $x(t), y(t), z(t)$. As componentes do vetor velocidade v são:

$$v_x = \frac{dx}{dt}$$

$$v_y = \frac{dy}{dt}$$

$$v_z = \frac{dz}{dt}$$

Consideremos agora um referencial de inércia fixo S e um outro móvel com velocidade constante v ao longo do eixo dos x . Por convenção, mas sem perda de generalidade, no instante $t=0$, a origem dos dois referenciais coincide. Ver Fig. 1.

A bola azul assinala a posição do móvel, no instante t . Basta olhar para a figura para ver que:

$$x = x' + vt \quad (\text{A1})$$

$$y = y' \quad (\text{A2})$$

$$z = z' \quad (\text{A3})$$

Anexo 2

Vamos mostrar como se pode deduzir a transformação de Lorentz.

Voltemos a olhar para a figura 1, mas esqueça a bola azul. Imagine que no instante $t=t'=0$, quando os dois referenciais coincidem, se acendia uma luz na origem, $O=O'$.

A luz propaga-se isotropicamente e, para um observador em S , ao fim de t segundos, a separação da luz das trevas é uma superfície esférica de raio ct . Quando, em casa, acendemos uma lâmpada parece que instantaneamente toda a sala fica cheia de luz. Mas, de facto, ao fim de 3 nanossegundos, a luz só chegou a um metro da lâmpada. Para chegar a dois metro ainda vai tardar mais 3ns. A equação da superfície esférica que separa a luz das trevas é:

$$x^2 + y^2 + z^2 = (ct)^2 \quad (\text{A4})$$

Como $c=c'$ o observador em S' fará o mesmo raciocínio e dirá que a separação da luz das trevas é a superfície esférica:

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 = (ct')^2 \quad (\text{A5})$$

A tarefa de encontrar as Transformações de Lorentz resume-se a encontrar a transformação linear que transforma a eq. (A4) na eq. (A5). Mais simples ainda. Como o movimento relativo se dá ao longo do eixo dos x , as eqs. (A2) e (A3) são válidas. Portanto estamos à procura de uma transformação que leve de

$$x'^2 = (ct')^2$$

a

$$x^2 = (ct)^2$$

Como sabemos que, para pequenas velocidades, a eq. (A1) é válida, um palpite sensato seria tentar a seguinte forma:

$$x' = x - \beta ct \quad (\text{A6})$$

$$ct' = ct - \beta x \quad (\text{A7})$$

Este palpite é sensato porque os termos lineares, isto é, os termos em xct , cancelam e obtemos

$$x^2(1 - \beta^2) = (ct)^2(1 - \beta^2)$$

Note que não seria sensato tentar $t'=t$. Como o espaço é relativo para termos uma velocidade que é absoluta, o c , então o tempo também tem que ser relativo. Agora é óbvio: basta dividir os segundos membros de (A6) e (A7) por $\sqrt{1 - \beta^2}$ e temos a transformação de Lorentz:

$$ct' = \gamma(ct - \beta x)$$

$$x' = \gamma(x - \beta ct) \quad (\text{A8})$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

Imaginemos que, para o observador em S' , x' , y' e z' são a posição de um móvel no instante t' . Num instante posterior, $t'+\Delta t'$, o móvel estará em $x'+\Delta x'$, $y'+\Delta y'$, $z'+\Delta z'$. Usando a transformação de Lorentz para os acréscimos obtemos:

$$c\Delta t' = \gamma(c\Delta t - \beta\Delta x)$$

$$\Delta x' = \gamma(\Delta x - \beta c\Delta t) \quad (\text{A9})$$

$$\Delta y' = \Delta y$$

$$\Delta z' = \Delta z$$

Dividindo, ordenadamente, a segunda das eqs (A9) pela primeira teremos:

$$\frac{\Delta x'}{c\Delta t'} = \frac{\frac{\Delta x}{\Delta t} - v}{c - \beta \frac{\Delta x}{\Delta t}}$$

Passando ao limite quando o acréscimo do tempo tende para zero, obtemos:

$$v'_x = \frac{v_x - v}{1 - \frac{v v_x}{c^2}}$$

que é a transformação, da componente x , do vetor velocidade. De igual modo se obteriam as transformações para as outras duas componentes.

Referências

- [1] A. Pais, "Subtle is the Lord ... the science and life of Albert Einstein" Oxford University Press, 1982.
- [2] Um eV (elétron volt) é a energia de um elétron quando transita entre dois pontos cuja diferença de potencial é um Volt.
- [3] Em 1 de julho de 1946 a Time publicou na capa esta equação juntamente com uma fotografia de Einstein.



Augusto Barroso, Professor Catedrático aposentado do Departamento de Física da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Desenvolvimento de fibras de mudança de fase para regulação térmica

Nathalia Hammes^{1,2}, Claver Pinheiro¹, José Monteiro³, Iran Rocha Segundo¹, Natália Homem^{2,4}, M. Manuela P. Silva⁵, Helena P. Felgueiras², Graça M. B. Soares², Elisabete Freitas⁶, Manuel F. M. Costa⁷, Joaquim Alexandre O. Carneiro¹

1. Centro de Física da Universidade do Minho e do Porto (CF-UM-UP), Av. da Universidade, Guimarães, 4800-058, Portugal

2. Centro de Ciência e Tecnologia Têxtil, Universidade do Minho (2C2T - UMinho), Av. da Universidade, Guimarães, 4800-058, Portugal

3. Universidade do Minho, Escola de Ciências, Campus de Gualtar, Braga, 4710-057, Portugal

4. Simoldes Plásticos S.A, No. 165, Rua Comendador António da Silva Rodrigues, Oliveira de Azeméis, 3720-193, Portugal

5. Centro de Química da Universidade do Minho (CQ - UMinho), Campus de Gualtar, Braga, 4710-057, Portugal

6. Universidade do Minho, ARISE, Departamento de Engenharia Civil (ISISE - UMinho), Av. da Universidade, Guimarães, 4800-058, Portugal

7. Centro de Física da Universidade do Minho e do Porto (CF-UM-UP), R. da Universidade, Braga, 4710-057, Portugal

id11659@alunos.uminho.pt

Resumo

O aquecimento global impõe o desenvolvimento de novos materiais e estratégias de regulação térmica. Materiais de mudança de fase (PCM) são capazes de absorver e libertar energia térmica num processo de fácil controlo. Estes materiais podem ser incorporados em fibras facilitando a sua aplicação, por exemplo em pavimentos asfálticos, absorvendo calor durante o dia e libertando-o durante a noite reduzindo, assim, o efeito das Ilhas de Calor Urbano (ICU) que tão negativamente podem afetar a vida nas nossas cidades. Fibras de mudança de fase (PCF), compostas por Acetato de Celulose (CA) e Polietilenoglicol (PEG), foram produzidas usando a técnica de fiação húmida com diferentes velocidades de extrusão. O CA atua como bainha de proteção, e o PEG, como material de mudança de fase (PCM) capaz de absorver ou emitir energia térmica. Análises como espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR), microscopia de campo claro, termogravimetria (TGA) e calorimetria diferencial de varrimento (DSC) confirmaram a presença de PEG incorporado em fibra.

Introdução

Devido às alterações climáticas, o aquecimento dos pavimentos asfálticos das nossas cidades provoca o aparecimento de ilhas de calor de efeitos consideravelmente negativos na qualidade de vida e saúde dos cidadãos. Materiais de mudança de fase têm a capacidade de absorver energia térmica nas alturas de maior calor e libertar a energia acumulada durante a noite quando a temperatura atmosférica baixa, podendo, assim, funcionar como reguladores térmicos [1].

Os desafios colocados pelas alterações climáticas e os seus efeitos, como o aquecimento global, requerem que a comunidade académica e científica investigue e desenvolva soluções inovadoras e sustentáveis. Uma destas soluções reside na utilização de materiais de mudança de fase (PCM), capazes de absorver calor durante as horas mais quentes e libertá-lo à noite, contribuindo assim para a regulação térmica dos ambientes. Esta tecnologia mostra-se particularmente promissora para

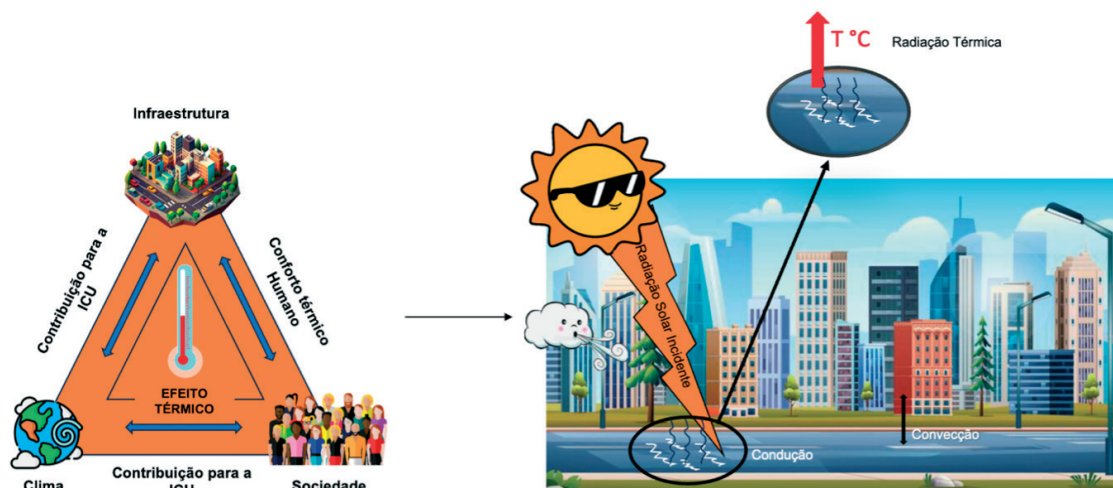


Figura 1 - Efeito das Ilhas de Calor Urbano (ICU) devido aos pavimentos asfálticos.

aplicação em meio urbano, nomeadamente em pavimentos asfálticos, com o intuito de mitigar o fenómeno das Ilhas de Calor Urbano (ICU) [2].

As ICU, que ilustramos na Figura 1, ocorrem quando áreas urbanas se tornam substancialmente mais quentes do que as suas zonas rurais circundantes, uma consequência da concentração de edifícios, veículos e, especialmente, asfalto. A cor escura facilita a absorção de quantidades significativas de calor, elevando a temperatura nas cidades. Este aumento não só causa desconforto, como também pode ter impactos negativos na saúde pública e no ambiente.

A integração de PCM em pavimentos asfálticos, embora já reconhecida a nível internacional como uma estratégia eficaz para contrariar os efeitos das ICU, necessita ainda de ser extensivamente estudada em Portugal. Tal inovação promete não só melhorar a qualidade de vida urbana, mas também aumentar a durabilidade dos pavimentos, que se degradam menos sob altas temperaturas [3].

Este estudo ultrapassa a sua dimensão técnica ao incorporar valores de responsabilidade ambiental, realçando a importância de uma educação científica focada em inovação consciente e no desenvolvimento do pensamento crítico. A metodologia empregue pretende despertar o interesse de estudantes e investigadores emergentes no desenvolvimento e investigação de tecnologias sustentáveis, destacando o papel essencial da ciência e da tecnologia na resolução de problemas ambientais e no avanço para um futuro mais verde.

Refletindo sobre a introdução dos PCM de uma forma simples, mas com referências específicas, destaca-se as fibras de mudança de fase (PCF), também conhecidas como fibras termorreguladoras, um tipo de PCM. Estas têm sido objeto de estudo devido ao seu potencial em armazenar energia térmica e controlar a temperatura de pavimentos asfálticos, edifícios urbanos e têxteis inteligentes de alto desempenho. As PCF são capazes de armazenar e libertar energia térmica durante o processo de mudança de fase, o que permite mitigar e prevenir problemas ambientais, sociais e económicos. A literatura descreve vários métodos de preparação destes materiais, incluindo técnicas como enchimento, revestimento, microencapsulação, fiação por fusão e fiação húmida, desde os anos 1980 [4].

Entre esses métodos, a fiação húmida destaca-se pelas suas vantagens, tais como a ausência de calor durante a produção, reduzindo o risco de degradação térmica, e a capacidade de produzir fibras contínuas ocas ou de núcleo preenchido com diferentes formas, diâmetros e tamanhos de secção transversal [5]. Contudo, ainda se necessita de mais investigação para expandir o leque de inovação. Este trabalho é um dos primeiros a detalhar o processo de fabrico de fiação húmida com estrutura de PCF, analisando o comportamento térmico e as propriedades morfológicas, químicas (ATR-FTIR) e térmicas (TGA, DSC) das PCF em comparação com suas fibras análogas ocas.

Ao analisar o uso dos materiais de mudança de fase (PCM) na solução de problemas reais, tais como as Ilhas de Calor Urbano (ICU), este trabalho ambiciona influenciar de forma significativa

a criação de políticas e práticas ambientalmente responsáveis. As universidades e laboratórios de investigação assumem um papel na sensibilização para a utilização prudente e sustentável de materiais e tecnologias, buscando melhorar a qualidade de vida. Espera-se que este estudo funcione não apenas como catalisador, mas também como impulso para uma série de outras iniciativas inovadoras e sustentáveis, estimulando a curiosidade e o interesse em investigações orientadas para solucionar os desafios ambientais atuais.

Desenvolvimento de fibras de mudança de fase.

A produção das PCF foi realizada através do método de fiação húmida, utilizando os seguintes materiais: i) acetato de celulose comercial, do inglês cellulose acetate (CA, Sigma-Aldrich) em pó, com um 39,8 cg/g, Mn médio = 30 000 e 39,8 cg/g, Mn médio = 50.000, ii) Polietilenoglicol 2.000 $H(OCH_2CH_2)_nOH$ (PEG2000, Thermo Fisher Scientific), temperatura de fusão entre 53 °C e 55 °C, iv) N,N-Dimetilformamida (DMF, 99%, Sigma-Aldrich), e v) dH_2O . DMF e dH_2O foram utilizados como solventes para as soluções de CA e PEG, respetivamente. O CA, que é um éster de acetato de celulose e o derivado mais comum da celulose, foi escolhido como material polimérico para a bainha protetora devido às suas características naturais e não tóxicas, sendo amplamente utilizado na produção das fibras coaxiais de mudança de fase, do inglês *Phase Change Fibres* (PCF). Entre os vários PCM disponíveis na literatura e no mercado, o polietilenoglicol (PEG) foi selecionado para o núcleo das PCF pela sua alta capacidade de armazenamento, estabilidade química, baixo comportamento de sobrearrefecimento e ampla faixa de temperaturas de mudança de fase. Relativamente às propriedades térmicas do CA e do PEG, a Figura 2 e Figura 3 mostram a caracterização por TGA e DSC dos materiais virgens em estudo, respetivamente. No que diz respeito ao ensaio TGA, foram efetuados estudos de perda de massa dos materiais virgens em função do aumento da temperatura, sendo que a perda de massa para o PEG2000 se inicia a ≈ 350 °C e finaliza a ≈ 430 °C. Para CA comercial, a perda de massa começa a ≈ 315 °C e finaliza a ≈ 350 °C. Para o DSC, foram analisados os picos e as temperaturas de mudança de fase. Para estes ensaios, os materiais virgens obtiveram resultados esperados de acordo com a literatura, onde para o CA entre 230 °C e 235 °C e para o PEG entre 53 °C e 55 °C.

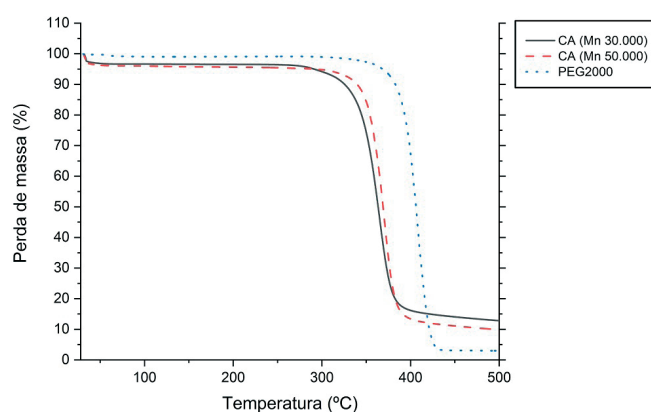


Figura 2 - TGA dos materiais virgens, aquecimentos obtidos de 25 até 500 °C sob atmosfera de azoto, fluxo de 200 mL/min e aumento de temperatura de 10 °C/min.

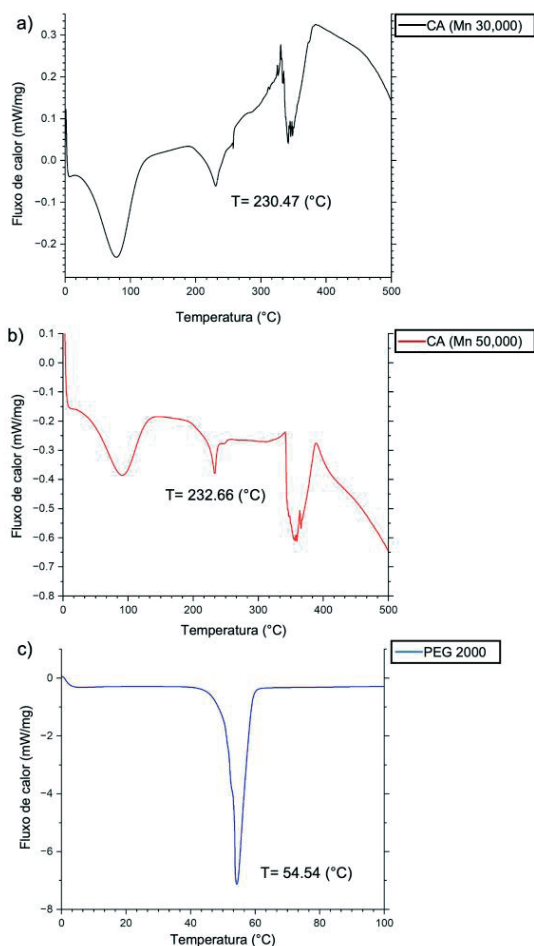


Figura 3 - DSC dos materiais virgens obtidos em aquecimento. a) CA (Mn 30.000). b) CA (Mn 50.000). c) PEG2000.

Soluções de CA (10-30 wt. %) e PEG2000 (40-60-80 wt. %) foram preparadas em DMF e dH_2O , agitadas a 50 °C. Após remover bolhas de ar, a fiação húmida utilizou bombas de seringa, agulha coaxial e coletor automático. A Figura 4 mostra um esquema do processo. Fibras ocas (Fo) e de mudança de fase (PCF) diferiram apenas no material das cânulas internas e externas. Os parâmetros do processo [4,5] foram ajustados para obter fibras com melhores propriedades (Figura 5). A velocidade de ejeção do CA foi de 0,165 mL/min, e a do PEG2000 variou entre 0,130-0,140-0,150 mL/min. As fibras foram coletadas a 6,21 rpm, com a agulha a 5 cm do banho de coagulação e o coletor a 45 cm. Após a produção, as fibras foram secas por 1 hora e armazenadas em ambiente controlado para testes subsequentes.

As amostras de fibras funcionalizadas foram identificadas por uma nomenclatura alfanumérica Fo_a_b e PCF_a_b/x_y,

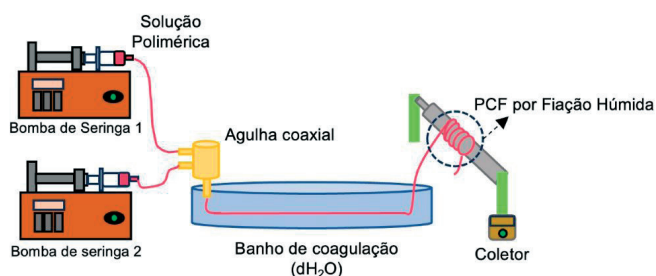


Figura 4 - Esquema de produção das PCF via fiação húmida.

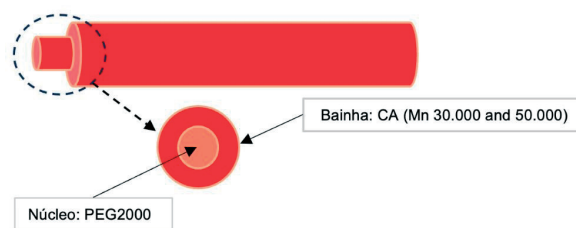


Figura 5 - Representação da PCF.

iniciada com "Fo" representando fibras ocas ou "PCF" representando fibras de mudança de fase. A letra "a" indica o peso molecular do CA (Mn 30 000 ou 50 000), a letra "b" representa a concentração de CA (10-20-30% em peso), a letra "x" indica a concentração de PEG2000 (40-60-80% em peso), e finalmente, a letra "y" representa a velocidade de ejeção de PEG2000 (0,130-0,140-0,150 mL/min). A velocidade de ejeção do CA (0,165 mL/min) e o peso molecular constante do PEG (Mn 2000) não foram incluídos na sequência alfanumérica das amostras. A morfologia das fibras, incluindo a detecção da presença de um sistema coaxial, será apresentada. As imagens foram obtidas com um aumento de 5× utilizando microscopia de campo claro através de um microscópio Leica DM IL LED.

As composições químicas das fibras foram analisadas por espectroscopia de infravermelhos com transformada de Fourier de reflexão total atenuada (ATR-FTIR). Os espectros foram adquiridos no intervalo de números de onda de 400-4000 cm^{-1} com uma resolução de 2 cm^{-1} .

As análises termogravimétricas (TGA) foram realizadas para avaliar as variações na estabilidade térmica dos materiais poliméricos tanto virgens quanto das fibras. As amostras foram colocadas em cadinhos de platina e submetidas a um aquecimento a uma taxa de 10 °C/min na faixa de temperatura de 25 °C a 500 °C, sob uma atmosfera de N_2 com uma vazão de 200 mL/min.

Para a determinação da temperatura de mudança de fase, entalpia de fusão e variações endotérmicas, foi realizado o ensaio DSC. As amostras foram inseridas em cadinhos de alumínio e submetidas a um aquecimento com uma taxa de 10 °C/min no intervalo de temperaturas entre 25 °C e 500 °C, sob uma atmosfera de N_2 com uma vazão de 200 mL/min.

Resultados e discussão

Após a produção das fibras ocas e das quatro PCF, elas foram analisadas por microscopia de campo claro para avaliar as suas morfologias, Figura 6. A observação das fibras ocas foi usada para indicar a presença de um sistema coaxial e comparar com as PCF. Nas PCF, foi observado que velocidades de ejeção mais rápidas do PEG2000 tornaram mais difícil distinguir entre a bainha e o núcleo. Isso deve-se ao PEG2000 ser solúvel em água destilada (dH_2O) e à sua rápida coagulação quando entra em contato com as paredes da bainha protetora, resultando numa mistura mais eficiente entre o núcleo e a bainha.

O teste químico ATR-FTIR foi realizado primeiro para os materiais virgens e depois para as quatro PCF, a fim de comparar e identificar a presença de CA e PEG2000 nos PCFs (Figura 7). Os espectros das PCF apresentaram características combinadas dos

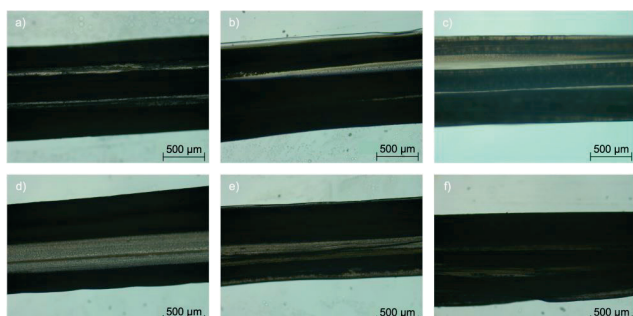


Figura 6 - Micrografias da morfologia das PCF obtidas por microscopia de campo claro. a) Fo_30_30. b) Fo_50_10 c) PCF_30_30/40_130. d) PCF_30_30/60_130. e) PCF_50_10/60_140. f) PCF_50_10/80_150.

dois materiais. Os picos 2865 cm^{-1} , 1465 cm^{-1} e 1105 cm^{-1} são picos característicos do PEG2000, onde é possível observar a presença do grupo éter e dos grupos CH_2 . Os picos 1745 cm^{-1} , 1231 cm^{-1} e 1045 cm^{-1} são os picos característicos do CA, onde é possível observar a presença do grupo carbonila ($\text{C}=\text{O}$) e estiramento éter ($\text{C}-\text{O}-\text{C}$) nos grupos acetato; e CH_2 e CH_3 na estrutura da celulose. Por fim, o pico 1657 cm^{-1} indica que o DMF esteve presente nas amostras, ou seja, pode indicar que algum solvente permaneceu após o processo de coagulação.

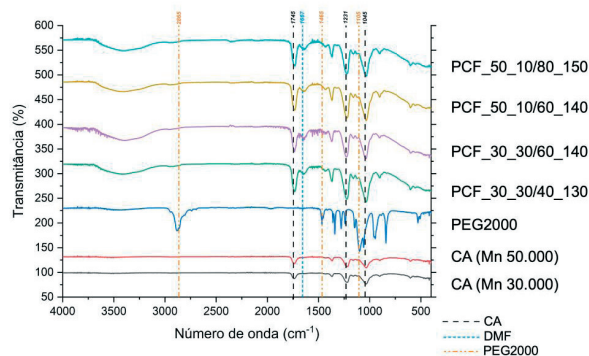


Figura 7 - Espectros ATR-FTIR das PCF.

A análise térmica (TGA), Figura 8, das PCF revelou uma perda inicial de massa devido à desidratação das fibras, seguida por uma estabilidade térmica até aproximadamente $350\text{ }^{\circ}\text{C}$. Acima dessa temperatura, ocorreu uma perda de massa devido à presença do PEG2000 no núcleo das fibras, resultando numa decomposição em duas fases, com a primeira degradação relacionada à quebra das cadeias do PEG2000. O ensaio de calorimetria diferencial de varrimento (DSC) das PCF, Figura 9, mostrou um comportamento distinto. A adição de PEG ao núcleo das fibras CA resultou numa transição endotérmica em torno de $38,30\text{ }^{\circ}\text{C}$, representando a cristalização exotérmica do PEG. Também foi observado um pico a cerca de $89,25\text{ }^{\circ}\text{C}$ devido às interações entre CA e PEG, reduzindo a transição vítrea (T_g) do polímero CA. A qualidade da bainha protetora de CA afetou a energia necessária para a transição, sendo menor para PCF_30_30 e maior para PCF_50_10. A variação nas concentrações de PEG não afetou negativamente a cristalização devido à distribuição uniforme da solução a altas temperaturas.

Conclusões

O fabrico de fibras de mudança de fase utilizando o método de fiação húmida revelou-se possível. Uma estrutura bem definida foi obtida com uma velocidade de ejeção de $0,130\text{ mL/min}$. A morfologia ideal foi obtida com PCF usando CA (Mn 30.000) na bainha e PEG2000 (concentração de 40%) no núcleo, com uma

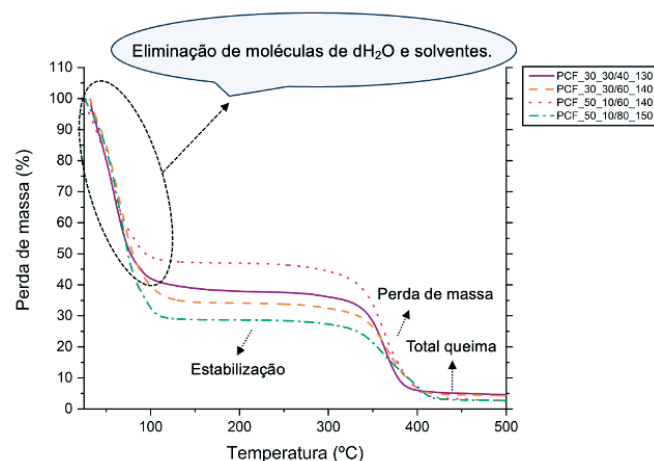


Figura 8 - TGA das PCF, aquecimentos obtidos de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ sob atmosfera de azoto, fluxo de 200 mL/min e aumento de temperatura de $10\text{ }^{\circ}\text{C/min}$.

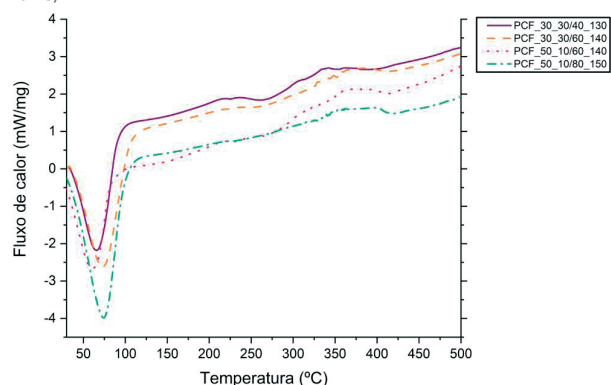


Figura 9 - DSC das PCF, aquecimentos obtidos de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ sob atmosfera de azoto, caudal de 200 mL/min e aumento de temperatura de $10\text{ }^{\circ}\text{C/min}$.

taxa de ejeção de PEG de $0,130\text{ mL/min}$, conforme visualizado por microscopia de campo claro. Observou-se uma possível mistura de PEG-CA em velocidades mais altas de ejeção do PEG, resultando em PEG intercalado em toda a fibra e um canal de ejeção menos visível. O FTIR identificou claramente o PEG no núcleo da fibra. O ponto de fusão do PEG2000 dentro das PCF correspondeu ao ponto de fusão do PEG puro, com um leve deslocamento, indicando a obtenção de PCF com mudança de fase. O peso molecular do CA e a concentração de PEG2000 influenciaram o ponto de fusão, enquanto as velocidades de ejeção do PEG2000 não tiveram esse efeito. Por fim, os testes de TGA mostraram que as PCF resistiram a altas temperaturas, indicando a sua capacidade de serem utilizadas em misturas e compactadas com asfalto.

Agradecimentos

Esta investigação foi financiada pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia FCT/MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC) no âmbito dos projectos MicroCoolPav EXPL/EQU-EQU/1110/2021, NanoAir PTDC/FISMAC/6606/2020 (doi.org/10.54499/PTDC/FIS-MAC/6606/2020), UIDB/04650/2020, UIDB/04029/2020 (doi.org/10.54499/UIDB/04029/2020), no âmbito do Laboratório Associado de Produção Avançada e Sistemas Inteligentes ARISE com a referência LA/P/0112/2020, UID/CTM/00264/2020 e UID/QUI/00686/2020. Nathalia Hammes, Iran Rocha Segundo e Helena P. Felgueiras gostariam de agradecer à FCT pelo financiamento com a referência 2024.01990.BD, 2022.00763.CEECIND (doi.org/10.54499/2022.00763.CEECIND/CP1718/CT0006) e 2021.02720.CEECIND (doi.org/10.54499/2021.02720.CEECIND).

Referências

- [1] Segundo, I.R.; Freitas, E.; Branco, V.T.F.C.; Landi, S.; Costa, M.F.; Carneiro, J.O. Review and Analysis of Advances in Functionalized, Smart, and Multifunctional Asphalt Mixtures. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2021, 151, 111552, doi:10.1016/j.rser.2021.111552.
- [2] Gong, Z.; Zhang, L.; Wu, J.; Xiu, Z.; Wang, L.; Miao, Y. Review of Regulation Techniques of Asphalt Pavement High Temperature for Climate Change Adaptation. *J. Infrastruct. Preserv. Resil.* 2022, 3, 9, doi:10.1186/s43065-022-00054-5.
- [3] Pinheiro, C.; Hammes, N.; Lima, O.; Landi, S.; Homem, N.; Rocha Segundo, I.; Felgueiras, H.P.; Freitas, E.; Costa, M.F.M.; Carneiro, J. Reducing the Effects of Low Albedo of Asphalt Materials Incorporating Polyethylene Glycol (PEG) 1000, 2000 and 4000 as Phase Change Materials (PCM). *EPJ Web Conf.* 2023, 287, 09024, doi:10.1051/epjconf/202328709024.
- [4] Homem, N.C.; Tavares, T.D.; Miranda, C.S.; Antunes, J.C.; Amorim, M.T.P.; Felgueiras, H.P. Functionalization of Crosslinked Sodium Alginate/Gelatin Wet-Spun Porous Fibers with Nisin Z for the Inhibition of *Staphylococcus Aureus*-Induced Infections. *Int. J. Mol. Sci.* 2021, 22, 1930, doi:10.3390/ijms22041930.
- [5] Hammes, N.; Pinheiro, C.; Segundo, I.R.; Homem, N.C.; Silva, M.M.; Felgueiras, H.P.; Soares, G.M.B.; Freitas, E.; Costa, M.F.M.; Carneiro, J.A.O. Coaxial Fibres Incorporated with Phase Change Materials for Thermoregulation Applications. *Appl. Sci.* 2024, 14, 2473, doi:10.3390/app14062473.



Nathalia Hammes concluiu o Mestrado Integrado em Engenharia de Materiais em 2022, na Universidade do Minho, Portugal, onde realizou dois estágios de investigação no âmbito da Engenharia de Materiais. Já foi premiada pelo destaque nas Jornadas de Materiais e também no Congresso Doutoral em Engenharia (DCE 23) pelo melhor poster no Simpósio de Ciência e Engenharia de Materiais. É coautora em 4 artigos científicos internacionais, sendo primeira autora de 1. Foi bolsista de investigação no projeto MicroCoolPav desenvolvendo fibras coaxiais contendo PCM para termorregulação de pavimentos rodoviários. Atualmente, é bolsista no projeto NanoAir, que tem como objetivo desenvolver misturas asfálticas fotocatalíticas.



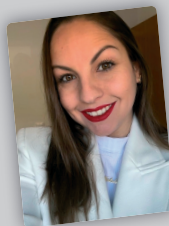
Claver Pinheiro formou-se em Geografia (2007), Tecnólogo em Saneamento Ambiental (2011) pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará e em Engenharia Civil (2014) pela Universidade Federal do Ceará, Brasil. Terminou em 2022 o doutoramento em Engenharia Civil – Geotecnia na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), Portugal. Desde então, esteve envolvido em 5 artigos científicos, participou de conferências e escreveu capítulos para 3 livros científicos. Atualmente é investigador pós-doutoral na Universidade do Minho, com trabalhos de investigação no estudo do uso de PCM para mitigar os efeitos da Ilha de Calor Urbano nos pavimentos.



José Monteiro licenciou-se em Ciências do Ambiente na Universidade do Minho, Portugal (2022) e encontra-se no segundo ano do Mestrado de Ciências e Tecnologias do Ambiente – Energias. Efetuou um estágio em 2021-2022 na Câmara Municipal de Braga no âmbito dos riscos de Movimentos de Vertente no Concelho de Braga. Neste momento, encontra-se a compor a sua tese de mestrado com o tema "Desenvolvimento de fibras coaxiais compostas por materiais de mudança de fase para a termorregulação de estruturas de Engenharia Civil" na Universidade do Minho.



Iran Rocha Segundo formou-se em Engenharia Civil (CE) pela Universidade Federal do Ceará, Brasil (2014) e no mestrado em CE na Universidade do Minho, Portugal (2018), onde recebeu a distinção de melhor aluno. Realizou doutoramento na mesma instituição, finalizando em 2022 com nota máxima na defesa. Com um H-index de 10 e mais de 430 citações, é coautor de 27 trabalhos indexados na plataforma Scopus. Apresentou em mais de 20 conferências internacionais, colaborando com pesquisadores e projetos internacionais. Atualmente, é investigador doutorado na Universidade do Minho, concentrando-se na funcionalização de materiais para a Engenharia Civil, principalmente misturas asfálticas, materiais cimentícios e tintas utilizando nano/micromateriais. Foi um dos mais recentes doutorados em Portugal a ser aprovado no Concurso Estímulo ao Emprego Científico Individual da FCT, ao submeter a sua proposta apenas 41 dias após a defesa do seu doutoramento.



Natália Homem formou-se em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Maringá, Brasil, concluiu mestrado (2016) e doutoramento (2019) na mesma instituição. Estagiou na Universidade do Minho, Portugal, com bolsa CAPES/FCT (2016 a 2017) e trabalhou como investigadora pós-doutoral, na DTX - Digital Transformation CoLab. Publicou mais de 23 artigos em revistas de alto impacto, 1 livro e 3 capítulos de livros. Esteve presente em mais de 30 conferências internacionais, recebendo três prémios de melhor apresentação oral/poster. Atualmente, gere projetos de inovação de aplicação de materiais bio baseados e reciclados para o setor automóvel na empresa Simoldes Plastics.



M. Manuela P. Silva licenciou-se em Tecnologia Química (1990) pela Universidade de Lisboa, Portugal. Realizou o doutoramento em Química Física e Analítica (1999) na Universidade do Minho e obteve a Agregação em Química em 2014 na mesma universidade. Desde o início da sua carreira académica fez parte de cerca de 200 artigos científicos, foi autora de um livro e de 5 capítulos de livros e participou em mais de 21 conferências. Em 1991, após terminar a sua licenciatura, ingressou na carreira académica na universidade, como Assistente Docente da Universidade do Minho, onde é hoje investigadora e Professora Catedrática com Agregação em Química.



Helena P. Felgueiras formou-se em Engenharia Biomédica, mestrado em Biomateriais, Biomecânica e Reabilitação na Universidade do Minho, Portugal (2011) e doutorada em Engenharia Biomédica, na Université Paris 13, França (2014). Foi autora de um livro, 5 capítulos, editora de 4 livros, colaborou em 50 artigos, apresenta um H-index de 22 e fez parte de várias comunicações nacionais e internacionais. Está listada entre os "2% Melhores Cientistas do Mundo" mais citados (classificação Universidade Stanford e Elsevier). Neste momento, é investigadora assistente, concentrando-se em desenvolver tratamentos para feridas crónicas com peptídeos antimicrobianos e extratos naturais, imobilizados em matrizes poliméricas biocompatíveis e biodegradáveis.



Graça M. B. Soares licenciou-se em Ciências Farmacêuticas na Universidade do Minho em Portugal, onde a levou a concluir o seu mestrado em 1993 e o doutoramento em 2000 na mesma instituição. Esteve envolvida em mais de 41 artigos, 4 capítulos de livro, apresenta um H-index de 20 e participou em conferências de diversas áreas da Ciência. Atualmente, trabalha como Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Têxtil da Universidade do Minho, Portugal.



Elisabete Freitas é licenciada e doutorada em Engenharia Civil pela Universidade do Minho, Portugal, em 1998 e 2004, respetivamente. Atua também, como Investigadora e Professora Auxiliar no Departamento de Engenharia Civil desde 1998. Desde então, orientou 9 doutoramentos e 36 teses de mestrado, sendo autora de mais de 120 artigos em revistas e conferências internacionais. Integra também o conselho editorial de quatro revistas indexadas Scopus ou WoS/SCI. Sua pesquisa abrange as características superficiais de pavimentos rodoviários, com foco em novas funções e segurança rodoviária.



Manuel F. M. Costa é doutorado em Ciência Física pela Universidade do Minho (Portugal) onde trabalha desde 1985 no Departamento de Física lecionando e realizando investigação aplicada em metrologia ótica, ótica aplicada, filmes finos, nanociências e aplicações, e no ensino e literacia científica. Fez parte de mais de 400 apresentações de encontros internacionais e publicações em artigos científicos, monografias e livros. É editor e membro de conselhos editoriais de várias revistas internacionais, presidiu mais de trinta conferências internacionais, presidindo ou fazendo parte da direção de várias sociedades e organizações científicas nacionais e internacionais.



Joaquim Alexandre O. Carneiro é doutorado em Engenharia Mecânica pela FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, assim como mestre em Físico-Química na Universidade do Minho, Portugal, onde atua como investigador e professor. Apresentou mais de 100 trabalhos científicos, 1 livro, 6 capítulos e 1 patente. Faz parte de distintos conselhos editoriais e revistas internacionais, liderou e participou em projetos nacionais e internacionais de nanotecnologia, nanomateriais, filmes finos e novos materiais aplicados à construção civil. Atualmente coordena o projeto NanoAir, que tem como principal objetivo desenvolver misturas asfálticas fotocatalíticas para a limpeza do ar. Foi coordenador do Grupo de Revestimentos Funcionais no Centro de Física da UMinho, onde desenvolve investigação na área das nanotecnologias, revestimentos funcionais, materiais fotocatalíticos, entre outros.

Nem Tudo é Relativo – Uma estratégia para facilitar a resolução de problemas

Manuela Ramos Silva, Pedro Pereira da Silva

CFisUC, Departamento de Física, Universidade de Coimbra, P-3004-516 Coimbra

psidonio@uc.pt

Resumo

Aprender Física inclui tentar resolver uma grande quantidade de exercícios ou problemas, para que se ensine (e depois teste) a aplicação do conhecimento adquirido a novas situações. Neste texto, reflecte-se sobre problemas de movimento relativo e como torná-los mais compreensíveis para os alunos que tentam resolvê-los, dividindo-os em dois grandes tipos.

Introdução

Tudo é relativo. Na verdade, na lógica newtoniana, espaço e tempo são absolutos, enquanto a velocidade é relativa. Na lógica einsteiniana, espaço e tempo são relativos e a velocidade da luz é absoluta. O conceito de o movimento de um mesmo objeto ser descrito de forma diferente por dois observadores diferentes é introduzido cedo no estudo da Mecânica, até para salientar a importância da definição do referencial que se usa para definir posição, velocidade, etc,... O exemplo mais utilizado é o de um comboio que se aproxima de uma estação. Para o passageiro na estação o comboio aproxima-se, para o passageiro no comboio, é a estação que se aproxima e muitas outras situações com comboios e passageiros podem ser aproveitadas: uma delas, mais avançada, é na explicação da força fictícia a que têm de recorrer os passageiros que vêm, enquanto o comboio acelera, os objetos pendurados a fugir das suas posições verticais de equilíbrio. Recordam-se as palavras de uma aluna de 14 anos, que embora encontrasse lógica na diferente descrição do movimento pelo passageiro dentro do comboio e pelo passageiro fora na estação, não conseguia compreender porque não concordavam todos os observadores que um aluno a dormir na sua cama durante a noite estava em repouso.

Percebidas as diferentes descrições, o passo seguinte é conseguir relacionar as posições e velocidades medidas pelos dois observadores. Esta relação pode ser difícil de entender mesmo num movimento a uma dimensão como *Trudel&Metioui* [1] reportam. Em 2019, nesse inquérito a duas turmas do 11.º ano, no Canadá, sobre a posição relativa de duas bolas que se movem na mesma linha reta, com diferentes velocidades e diferentes instantes iniciais, as respostas dos alunos evidenciam a sua grande dificuldade em lidar com o movimento relativo [1]. Em 2023,

apresentou-se a sugestão de usar um smartphone, e análise de vídeo subsequente para que os alunos possam ver o mundo pelos olhos de um observador em movimento [2].

Como a transformação de Galileu não envolve o conceito de força, a relação entre vetores velocidade serve muitas vezes como a primeira aplicação em Física da adição e subtração de vetores. A maior parte dos exercícios propostos aos alunos debaixo do chapéu de movimento relativo resolvem-se com a soma/subtração de 3 vetores velocidade, o do objeto em relação a um referencial, a do objeto em relação a um segundo referencial e a de um referencial em relação ao outro. Alguns são exercícios puros de movimento relativo, com o movimento de um certo objeto a ser descrito de forma diferente por dois observadores ligados a referenciais diferentes. No outro extremo, estão exercícios que se resolvem com somas/subtrações de vetores velocidade, mas que pouco têm de movimento relativo. Lidar com vetores traz sempre uma dificuldade acrescida aos alunos, mais à vontade com valores escalares, mas, por vezes, é a interpretação inicial do enunciado do problema que os deixa zonzos.

Considerem-se duas situações muito semelhantes, esboçadas na Figura 1.: Susana, parada de um lado da estrada, chama o seu cão, inicialmente do outro lado da estrada, que atravessa com velocidade de 1 m/s, para chegar até à Susana. Santiago anda de bicicleta pelo meio da estrada com velocidade de 2 m/s. Como descrevem Susana e Santiago o movimento do cão? Na segunda situação, Susana, parada na margem de um rio, chama o seu cão, inicialmente do outro lado do rio, que consegue atravessar com velocidade de 1 m/s para tentar chegar até à Susana. Santiago está numa canoa no meio do rio e deixa-se levar pela corrente deste com velocidade de 2 m/s. Como descrevem Susana e Santiago o movimento do cão? Estes dois problemas são muito semelhantes e o facto de a resolução/resultados ser diferente surpreende (ou mesmo assusta) os alunos que a eles são expostos. O preâmbulo teórico (as transformações de Galileu) a que são expostos antes de iniciar a resolução em nada os prepara para distinguir a subtil diferença do enunciado.

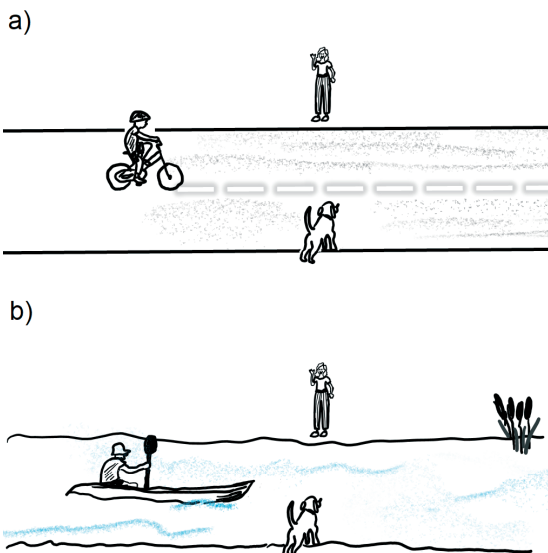


Figura 1 - Esboço mostrando as personagens das duas situações: Susana, Santiago e cão. Em a): O cão atravessa a estrada para chegar até à Susana no outro lado da estrada enquanto Santiago pedala no meio da estrada. Em b): O cão atravessa o rio para tentar chegar até à Susana na outra margem do rio enquanto Santiago desce o rio levado pela corrente.

Preâmbulo teórico

Considere-se um observador ligado a um referencial S, que se supõe fixo em relação à Terra. Considere-se outro referencial S' que se move relativamente ao primeiro. Considere-se agora um objeto e o seu vetor posição relativamente aos dois referenciais. Olhando para a Figura 2, facilmente se encontra a seguinte relação vetorial:

$$(1) \quad \vec{r} = \vec{r}' + \vec{r}_{S'S}$$

Que derivando em ordem ao tempo, uma e duas vezes, dá a relação entre velocidades e entre acelerações:

$$(2) \quad \vec{v} = \vec{v}' + \vec{v}_{S'S}$$

$$(3) \quad \vec{a} = \vec{a}' + \vec{a}_{S'S}$$

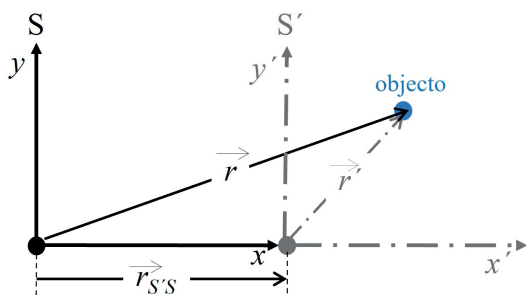


Figura 2 - Vetor posição de um objeto descrito por dois referenciais diferentes, S e S'.

Primeira situação

A primeira situação corresponde a um problema puro de movimento relativo. Escolhendo-se arbitrariamente as posições iniciais relativas entre a Susana (S), o Santiago (S') e o cão, conforme a figura 3, podem-se desenhar as posições ocupadas segundo a segundo dos intervenientes, no referencial da Susana ou no referencial do Santiago. Susana vê o cão dirigir-se a ela em linha reta, percorrendo um metro a cada segundo, e vê Santiago também

pedalar em linha reta, percorrendo dois metros a cada segundo. No instante $t=2$ s, cão e Santiago estão na mesma posição, dois metros à sua frente. No instante $t=4$ s o cão ocupa a origem do referencial, ou seja, está junto à Susana.

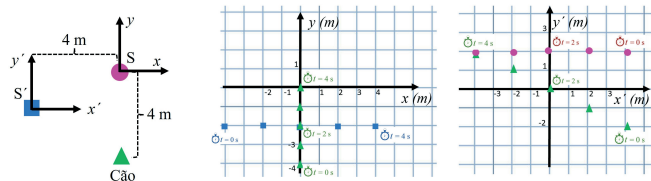


Figura 3 - (Esquerda) esquema mostrando as posições iniciais relativas e os referenciais S e S'. (Centro) Trajetória do cão e do Santiago em relação à Susana. (Direita) Trajetória do cão e da Susana em relação ao Santiago (S').

Segundo o Santiago, ou seja, em relação ao referencial S', ele próprio está em repouso, mantendo-se na origem do seu referencial. A Susana move-se da direita para a esquerda, percorrendo dois metros a cada segundo e o cão tem uma trajetória oblíqua. No instante $t=2$ s, cão e Santiago estão na mesma posição, a origem do referencial S'. No instante $t=4$ s, cão e Susana estão juntos na posição de coordenadas $(-4, 2)$ em S'.

Pode-se escrever em função do vetor posição e do vetor velocidade, em relação a S:

$$(4) \quad \vec{r}_{Susana}(t) = 0$$

$$(5) \quad \vec{r}_{cão}(t) = (-4 + t) \hat{u}_y$$

$$(6) \quad \vec{r}_{Santiago}(t) = (-4 + 2t) \hat{u}_x - 2\hat{u}_y$$

E também o vetor velocidade

$$(7) \quad \vec{v}_{Susana}(t) = 0$$

$$(8) \quad \vec{v}_{cão}(t) = 1 \hat{u}_y$$

$$(9) \quad \vec{v}_{Santiago}(t) = 2 \hat{u}_x$$

E em relação a S':

$$(10) \quad \vec{r}_{Susana}(t) = (4 - 2t) \hat{u}_x + 2\hat{u}_y$$

$$(11) \quad \vec{r}_{cão}(t) = (4 - 2t) \hat{u}_x + (-2 + t) \hat{u}_y$$

$$(12) \quad \vec{r}_{Santiago}(t) = 0$$

E também o vetor velocidade

$$(13) \quad \vec{v}_{Susana}(t) = -2 \hat{u}_x$$

$$(14) \quad \vec{v}_{cão}(t) = -2 \hat{u}_x + 1 \hat{u}_y$$

$$(15) \quad \vec{v}_{Santiago}(t) = 0$$

E naturalmente se verificam as relações entre vetores posição e velocidade, descritos por dois referenciais que se movem um em relação ao outro:

$$(16) \quad \vec{r}_{cão,Susana}(t) = \vec{r}_{cão,Santiago}(t) + \vec{r}_{Santiago,Susana}(t)$$

$$(17) \quad \vec{v}_{cão,Susana}(t) = \vec{v}_{cão,Santiago}(t) + \vec{v}_{Santiago,Susana}(t)$$

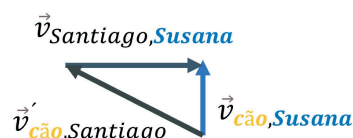


Figura 4 - Esquema mostrando o vetor velocidade dos intervenientes no exercício e a relação entre esses vetores (equação 17).

Podem-se escolher outros referenciais S' para descrever o movimento do cão, o referencial que acompanha uma pata e seus patinhos a atravessar a estrada na diagonal, um gato que atravessa em sentido contrário ao do cão, um rapazinho no seu skate ao longo da estrada, uma aranha que desce com velocidade constante por um fio da sua teia (Figura 5). À medida que se muda de observador muda-se a descrição do movimento do cão, ou seja, há diferentes coordenadas iniciais, diferentes coordenadas finais, diferentes módulos, direções e sentidos da velocidade, mas no final todos dirão: ao fim de 4 segundos, o cão está nos braços da Susana.

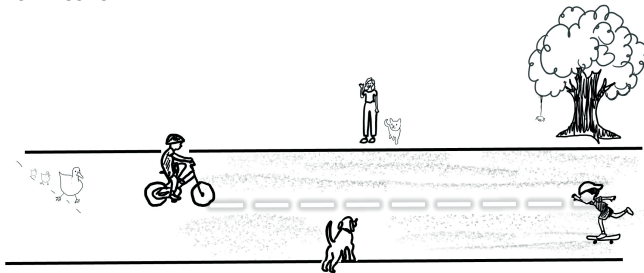


Figura 5 - Esboço mostrando as personagens Susana, Santiago e cão, acrescentando novos referenciais, gato, aranha, pata e skater.

Segunda situação

A segunda situação corresponde a um problema mais complexo que inclui movimento relativo, do tipo conhecido nos países anglo-saxónicos por *River-Boat problems*. A Susana tem o mesmo movimento, parada no referencial S , em movimento uniforme da direita para a esquerda no referencial S' . O Santiago tem o mesmo movimento, parado no seu referencial, em movimento uniforme da esquerda para a direita no referencial S , pedalar ou deixar-se levar pela corrente corresponde ao mesmo movimento. Mas o cão tem um movimento distinto, assim que entra na água ganha uma nova componente da velocidade, quase instantaneamente, empurrado pelas moléculas da água. Mas surgem novas forças? Sim. Um cão ou um nadador humano numa corrente de água, ou um avião numa corrente de vento corresponde a um objeto movendo-se num fluido viscoso também ele em movimento. E sobre o nadador, por exemplo, passam a actuar a força de impulsão e forças de resistência viscosa para além da força gravítica. As forças de resistência viscosa são complexas e variáveis, mudando de módulo, direção e sentido nas diferentes partes do corpo do nadador. É possível, porém, considerar que a resultante das forças se anula, em certas circunstâncias, proporcionando ao nadador um movimento retilíneo e uniforme. O efeito das forças viscosas traduz-se assim no surgimento num pequenino intervalo de tempo de uma nova componente da velocidade do nadador, igual à velocidade do fluido, que se mantém depois constante. No caso do cão da Susana, este mantém a sua componente de 1 m/s segundo o eixo dos yy e ganha uma nova componente de 2 m/s segundo o eixo dos xx , equação 18.

$$(18) \quad \vec{v}_{\text{cão}}(t) = 2 \hat{u}_x + 1 \hat{u}_y$$

Especificando as posições iniciais relativas entre a Susana (S), o Santiago (S') e o cão, conforme a figura 6, podem-se desenhar as posições ocupadas segundo a segunda pelos intervenientes, no referencial da Susana ou no referencial do Santiago. Susana vê o cão dirigir-se a ela numa trajetória oblíqua, e vê Santiago deslizar em linha reta. No instante $t=4$ s o cão chega à outra margem mas longe da Susana.

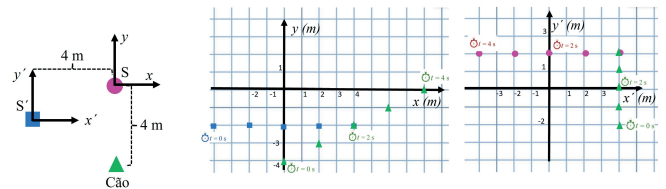


Figura 6 - (Esquerda) esquema mostrando as posições iniciais relativas. (Centro) Trajetória do cão e do Santiago em relação à Susana. (Direita) Trajetória do cão e da Susana em relação ao Santiago.

Segundo o Santiago, ou seja, em relação ao referencial S' , ele próprio está em repouso, mantendo-se na origem do seu referencial. A Susana move-se da direita para a esquerda, percorrendo dois metros a cada segundo e o cão tem uma trajetória em linha reta. No instante $t=4$ s, a Susana está na posição de coordenadas $(-4, 2)$ em S' , e o cão em $(4, 2)$, a posição inicial da Susana.

Pode-se escrever em relação a S :

$$(19) \quad \vec{r}_{\text{Susana}}(t) = 0$$

$$(20) \quad \vec{r}_{\text{cão}}(t) = (0 + 2t) \hat{u}_x + (-4 + t) \hat{u}_y$$

$$(21) \quad \vec{r}_{\text{Santiago}}(t) = (-4 + 2t) \hat{u}_x - 2 \hat{u}_y$$

E também o vetor velocidade

$$(22) \quad \vec{v}_{\text{Susana}}(t) = 0$$

$$(23) \quad \vec{v}_{\text{cão}}(t) = 2 \hat{u}_x + 1 \hat{u}_y$$

$$(24) \quad \vec{v}_{\text{Santiago}}(t) = 2 \hat{u}_x$$

E em relação a S' :

$$(25) \quad \vec{r}'_{\text{Susana}}(t) = (4 - 2t) \hat{u}_x + 2 \hat{u}_y$$

$$(26) \quad \vec{r}'_{\text{cão}}(t) = 4 \hat{u}_x + (-2 + t) \hat{u}_y$$

$$(27) \quad \vec{r}'_{\text{Santiago}}(t) = 0$$

E também o vetor velocidade

$$(28) \quad \vec{v}'_{\text{Susana}}(t) = -2 \hat{u}_x$$

$$(29) \quad \vec{v}'_{\text{cão}}(t) = 1 \hat{u}_y$$

$$(30) \quad \vec{v}'_{\text{Santiago}}(t) = 0$$

E naturalmente se verificam as relações entre vetores posição e velocidade, descritos por dois referenciais que se movem um em relação ao outro:

$$(31) \quad \vec{r}_{\text{cão}, \text{Susana}}(t) = \vec{r}'_{\text{cão}, \text{Santiago}}(t) + \vec{r}_{\text{Santiago}, \text{Susana}}(t)$$

$$(32) \quad \vec{v}_{\text{cão}, \text{Susana}}(t) = \vec{v}'_{\text{cão}, \text{Santiago}}(t) + \vec{v}_{\text{Santiago}, \text{Susana}}(t)$$

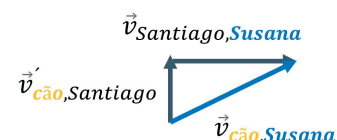


Figura 7 - Esquema mostrando o vetor velocidade dos intervenientes no exercício e a relação entre eles (equação 32).

A velocidade do cão em relação ao Santiago é de 1 m/s na direção y' , tal como fora a velocidade do cão em relação à Susana na primeira situação ou (extrapolando) como seria a velocidade do cão em relação à água parada. E é com esta última consideração que os exercícios são muitas vezes apresentados. Senão atentem nos dois enunciados seguintes, publicados num dos li-

vros mais utilizados a nível mundial:

Fundamentos de Física, de Walker, Halliday e Resnick, Décima edição, volume 1, módulo 4-7 Movimento relativo a duas dimensões, exercício 77-

A neve está caindo verticalmente com uma velocidade constante de 8,0 m/s. Com que ângulo, em relação à vertical, os flocos de neve parecem estar caindo do ponto de vista do motorista de um camião que viaja em uma estrada plana e retilínea a uma velocidade de 50 km/h?

Este problema remete para a primeira situação apresentada entre cão, Susana e Santiago. É conhecida a descrição do movimento de um objeto em relação a um referencial (aqui referencial fixo ligado à Terra) e pede-se a descrição do movimento segundo outro observador (referencial com movimento retilíneo e uniforme em relação ao primeiro)

$$\begin{aligned} (33) \quad \vec{v}_{flocos,Terra} &= \vec{v}'_{flocos,motorista} + \vec{v}_{motorista,Terra} \\ (34) \quad \vec{v}'_{flocos,motorista} &= -13,9\vec{u}_x - 8,0\vec{u}_y \\ (35) \quad \tan \theta &= \frac{-8,0}{-13,9} \Rightarrow \theta \approx 30,0^\circ \quad (60,0^\circ \text{ com a direcção vertical}) \end{aligned}$$

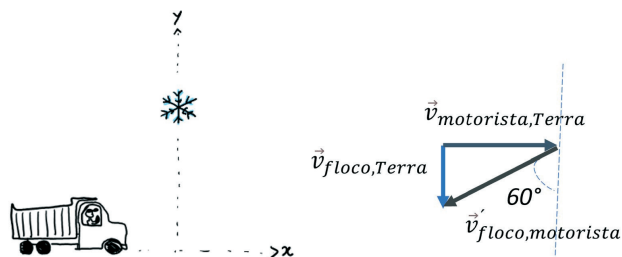


Figura 8 - (Esquerda) Esquema mostrando as posições iniciais relativas. (Direita) Relação entre os vetores velocidade.

Na mesma secção, no mesmo livro, encontra-se o seguinte exercício proposto, exercício 76 :

Um avião pequeno atinge uma velocidade do ar de 500 km/h. O piloto pretende chegar a um ponto 800 km ao norte, mas descobre que deve direccionar o avião 20,0° a leste do norte para atingir o destino. O avião chega em 2,00 h. Quais eram (a) o módulo e (b) a orientação da velocidade do vento?

Este problema remete para a segunda situação imaginada para o cão, Susana e Santiago. O avião movimenta-se dentro de um fluido viscoso. As informações que são dadas sobre o movimento do avião dizem respeito a dois referenciais. Podemos resolvê-lo considerando que o efeito da entrada do avião num fluido viscoso em movimento corresponde ao avião adquirir uma componente da velocidade igual à do fluido (vento).

$$\begin{aligned} (36) \quad \vec{v}_{avião} &= \vec{v}_{avião}^{inicial} + \vec{v}_{vento} \\ (37) \quad \left(\frac{800}{2}\right)\vec{u}_y &= (500\sin 20,0^\circ\vec{u}_x + 500\cos 20,0^\circ\vec{u}_y) + \vec{v}_{fluido} \\ (38) \quad \vec{v}_{fluido} &= -171,0\vec{u}_x - 69,8\vec{u}_y \quad \left(\frac{km}{h}\right) \end{aligned}$$

Este problema também pode ser resolvido recorrendo à relação de velocidades (equação 2, figura 9 direita). Mas ao aluno deve ser explicado o seguinte: 500 km/h é o módulo da velocidade relativa entre o avião e o ar, e é sempre o mesmo quer o ar esteja parado, quer exista vento com qualquer direcção e intensidade. A direcção 20,0° a leste do norte diz respeito ao referencial as-

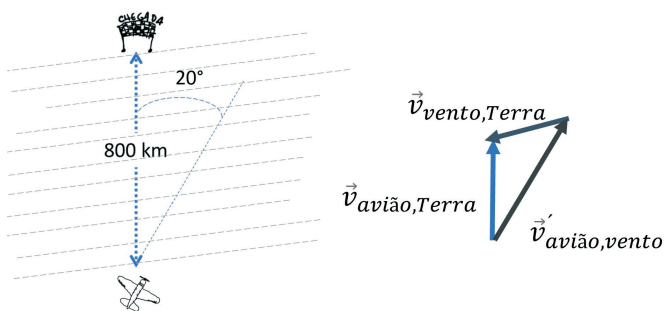


Figura 9 - (Esquerda) esquema mostrando as posições iniciais relativas. (Direita) Relação entre os vetores velocidade.

sociado ao vento. A distância 800 km entre o ponto de partida e o de chegada, o tempo de 2 horas e a direcção Sul-Norte dizem respeito ao referencial ligado à Terra.

Conclusão

Os problemas sobre movimento relativo são receados pelos alunos e também pelos professores por saberem que os alunos os acham difíceis de entender. Nós propomos que os professores ensinem os alunos a distinguir o tipo de exercício que estão a tentar resolver, distinguindo entre os problemas que descrevem completamente o movimento de um objeto segundo um referencial e pedem a descrição do movimento segundo outro referencial em movimento relativamente ao primeiro, e o outro tipo de exercícios em que o objeto mergulha num fluido em movimento, com as informações do enunciado a dizerem respeito aos dois referenciais (o do fluido e um referencial fixo na Terra).

Referências

- [1] L.Trudel, A. Métioui, "High School Students' Models of Relative Motion in Physics", Proceedings of the 3rd International Baltic Symposium on Science and Technology Education, BalticSTE2019, 238 (2019).
- [2] N. Campos, P. Pereira da Silva, S. Domingos & M. Ramos Silva, "Relative motion made real", The Physics Teacher 61(6):534-535 (2023) DOI:10.1119/5.0131137
- [3] Walker, Halliday & Resnick: "Fundamentos de Física", 10ª edição, LTC, 2016. ISBN-10-8521630352.



Manuela Ramos Silva licenciou-se em Física em 1993 e doutorou-se em Física Experimental em 2002 na Universidade de Coimbra, onde é professora associada com agregação. Trabalha na área da Física dos Materiais, com particular interesse em magnetismo molecular, tendo mais de 250 artigos publicados em revistas internacionais e mais de 3000 horas de aulas lecionadas.



Pedro Sidónio Pereira da Silva licenciou-se em Engenharia Física em 1995 e finalizou o seu mestrado em Física Tecnológica em 2000 na Universidade de Coimbra. Obteve o grau de Doutor em Física Experimental em 2012 na mesma Universidade, onde trabalha atualmente como técnico superior (laboratório TAIL-UC). Entre 2000 e 2008 foi assistente no Instituto Politécnico de Castelo Branco. Trabalha na área da Física dos Materiais, com particular interesse em óptica não-linear, tendo mais de 100 artigos publicados em revistas internacionais.

Escola de Verão

Escola Secundária Mães d' Água

Margarida de Sousa Leonardo

Escola Secundária Mães d' Água



A 1.^a Escola de Verão ESMA decorreu este ano, no final das atividades letivas, no Agrupamento de Escolas Mães D'Água, no concelho da Amadora. Este agrupamento distingue-se por ter, no seu corpo estudantil, 28 nacionalidades diferentes, 6 delas da CPLP, para além de Portugal: Brasil, Guiné-Bissau, Angola, Moçambique, São Tomé e Príncipe e Cabo Verde.

Em linha com o Projeto Educativo do Agrupamento, a Escola de Verão ESMA tinha como objetivos contribuir para a plena integração escolar e o sucesso dos alunos, na sua maioria provenientes de famílias deprimidas a nível social, económico e cultural. Visava promover uma Educação de qualidade e motivar para a Ciência, proporcionando o contacto com as ciências e as tecnologias para que os alunos desenvolvam as competências referidas no Perfil do Aluno no final da Escolaridade Obrigatória. Potenciou-se a cooperação entre sistemas formais e não formais de educação estabelecendo-se parcerias sólidas com instituições científicas, como são exemplo o LIP (Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas), a FCUL (Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa) e a SPF (Sociedade Portuguesa de Física). Valorizou-se o trabalho prático, experimental e colaborativo, e a interdisciplinaridade entre as diferentes Ciências Experimentais. Pretendeu-se contribuir para a literacia científica e tecnológica, proporcionando ambientes formais e não formais de aprendizagem.

O projeto “Escola de Verão ESMA” foi delineado com base em cinco pressupostos:

- a comunidade local tem uma elevada taxa de desemprego, com abandono escolar antes do fim do 2.º ciclo;
- os alunos provêm maioritariamente de etnias/culturas que, quer em termos familiares, quer nos media e na sociedade em geral, não encontram elementos de referência que lhes transmitam valores, ambições pessoais, desejo de um futuro diferente ou qual o caminho para lá chegar;
- os alunos afrodescendentes sofrem, desde cedo, problemas



de integração na sociedade. Desde logo, as suas vidas são marcadas pelo local onde os baixos rendimentos familiares lhes permitem morar, adstringindo-os a escolas na base da pirâmide dos ranking-escolas, por norma com pouco financiamento e sem estruturas que permitam facilitar a integração e acolher as diferenças culturais e prevenir e intervir em problemas do foro psicológico e comportamental;

- o facto de pertencermos ainda a uma sociedade patriarcal - que se torna mais marcada nas culturas dos PALOP e muçulmanas, estimando-se que menos de 5% dos postos de trabalho nas áreas STEM sejam ocupados por mulheres afrodescendentes – resulta num menor incentivo, quer por parte das famílias, quer por parte de outros elementos de referência, para que as alunas se sintam motivadas a eleger um percurso de vida dentro das Ciências Experimentais.
- há uma forte sub-representação dos afrodescendentes no ensino superior (16% vs. 34% dos portugueses, em 2011). Para mais, os alunos provenientes de famílias dos países que foram colonizados por Portugal têm cinco vezes menos possibilidade de aceder ao Ensino Superior.

Com este projeto, pretendeu-se dar resposta a estas lacunas, tão graves e carentes de urgente intervenção, na vida destas alunas. Decidiu-se dedicar este projeto, maioritariamente, mas não exclusivamente, a alunas do 3.º ciclo do Ensino Básico com origem nos PALOP. Foi decidido aceitar uma pequena percentagem de alunos do sexo masculino, todos com origem nos PALOP, cerca de um terço do total de inscritos.

Inscreveram-se 5 alunos do 7.º ano, 5 alunos do 8.º ano e 9 alunos do 9.º ano, totalizando 19 alunos. Voluntariaram-se 13 alunos do 10.º ano para monitores.



A Escola de Verão ESMA teve a duração de uma semana, ocupando o período das manhãs. Cada dia da semana seria dedicado a um tema da Física Experimental: Ondas, Eletricidade, Energia, Radioatividade, Mecânica e Ótica.

Os alunos foram convidados a assistir a um testemunho dado, na maioria dos casos, por jovens mulheres que escolheram especializar-se nessa área da ciência e que partilharam um breve relato do seu percurso, desde o liceu até onde se encontram hoje, como fizeram as suas escolhas, como esclareceram as suas dúvidas, quem foram as suas inspirações e o que pretendem fazer no futuro.

As palestrantes foram escolhidas por serem mulheres que venceram todo o tipo de obstáculos e que apostaram na sua educação para mudar a sua realidade, desenhando uma carreira na área das STEM.

Tão importante como esta atividade é o exemplo de empoderamento e capacitação que as palestrantes dão às alunas que assistiram e ouviram as suas histórias e percursos, ao agirem como exemplo e inspiração.

Assim, pretende-se que a Escola de Verão seja uma ação de liderança e que capacite as adolescentes para escolhas para um percurso na área das ciências (STEM) e que sejam assim, também elas, agentes de mudança da próxima geração.

Na origem de toda esta dinâmica está o facto de acreditarmos que a educação de meninas e adolescentes é uma forma de superar desigualdades sistémicas que perduram no tempo. Tam-

bém acreditamos que, para melhorar o mundo, precisamos de mais liderança feminina.

Depois de um juice-break, era proposto aos alunos a realização de atividades experimentais - em grupos e com o apoio de professores e de alunos monitores do 10.º ano - relacionadas com a área da ciência do dia correspondente.

A assiduidade foi próxima dos 100% em todos os dias. Os alunos motivavam-se a colocarem questões às palestrantes e participaram com entusiasmo nas atividades experimentais, discutindo, questionando e colaborando ativamente.

A sessão de encerramento contou com a presença da Presidente da UFPLP (União dos Físicos dos países de língua portuguesa), a Prof. Drª Sónia Semedo, docente na Universidade de Cabo Verde, que também deu um emocionante testemunho da sua história de vida e da necessidade de ser resiliente e corajoso para conseguir atingir os objetivos a que alguém se propõe. Em seguida, foram distribuídos diplomas de participação, entregues pelo Diretor do Agrupamento Escolar, o professor Jorge Gomes e pela Presidente da UFPLP.

Foi feito um balanço da Escola de Verão e em todos ficou o desejo de mais.

No final do projeto, depois da discussão e análise dos resultados aqui expostos ficou a reflexão: uma Mulher é como uma árvore - se bem suportada e bem regada, cresce frondosa e a sua influência abarcará mais do que a área da sua sombra, podendo lançar as suas sementes até onde o vento chegar, possibilitando a germinação de novas árvores - esperamos que também estas meninas se motivem para a ciência depois de terem recebido esta Luz e, também por sua vez, sejam sementes de Ciência! Deixa-se um agradecimento especial à Prof. Drª Conceição Abreu, que foi incansável e sem a qual o projeto não se teria realizado. Desenhou-nos as asas e ainda nos ensinou a Voar. Bem Haja!



Agradecimentos a todos os palestrantes na sua maioria estudantes de doutoramento: Analdyne Soares, Liliana Oliveira, Eveline Almeida, Isabel Alexandre, Leonor Pires, Sara Mendes, Lyhwa Mulessiua, Duarte Guerreiro e ainda aos Dr. Luís Afonso, Dr. Ivo Costa, SPF, LIP, UFPLP, DEGG e FCUL.

Entrevista a Andrea Cavalleri premiado com o *Europhysics Prize* de 2024

Bernardo Almeida¹, Olivier Pellegrino²

¹Departamento de Física, Escola de Ciências, Universidade do Minho

²Departamento de Metrologia, Instituto Português da Qualidade

¹bernardo@fisica.uminho.pt, ²OPellegrino@ipq.pt

O Prémio Europhysics Prize, promovido pela Divisão de Física Matéria Condensada da Sociedade Europeia de Física, foi atribuído em 2024 ao Professor Andrea Cavalleri. A Cerimónia de Entrega do Prémio e a palestra intitulada “Novos Materiais Quânticos” fizeram parte da 31.ª Conferência Geral da Divisão de Física Matéria Condensada da Sociedade Europeia de Física, que ocorreu em Braga, em setembro de 2024. Nesse âmbito, tivemos oportunidade de contactar com Andrea Cavalleri, de ouvir e discutir as suas ideias e de lhe fazer uma entrevista, apresentada a seguir. É uma oportunidade de o dar a conhecer aos nossos leitores.



Figura 1 - Andrea Cavalleri.

Como começou o seu interesse pela ciência? Houve alguma figura (família/professor/outro) que o ajudou a nutrir esse interesse?

Desde criança que sempre me interessei por ciências, mas também por outras coisas. O meu pai era médico e professor universitário, e cresci numa família que valorizava as realizações intelectuais. No secundário, gostava de matemática e das ciências naturais, embora estas a um nível inferior. Estudei engenharia na universidade, com a ideia de ingressar no mercado de trabalho numa profissão de técnico ou de gestão. Embora, com o tempo, me tenha interessado cada vez mais por problemas fundamentais, física da luz, lasers, dispositivos e materiais. Atribuo esta mudança progressiva à escola italiana de engenharia na década de 1990, que insistia nos fundamentos paralelamente a todos os tópicos técnicos.

Quando e como decidiu estudar Física?

Durante os meus estudos em engenharia de lasers, fui exposto à espectroscopia não linear em semicondutores, o que depois evoluiu num doutoramento em ciência de lasers, ciência de alta densidade de energia, física de plasmas e produção de raios X. Estes estudos aproximaram-me progressivamente da Física.

Quem e o que o levou a estudar física da matéria condensada e, em particular, a explorar as propriedades quânticas dos materiais?

Depois de um pós-doutoramento num grupo de Química em San Diego, descobri fortuitamente que os Materiais Quânticos podiam ser incrivelmente interessantes. Por acaso, encontrei um cristal de VO_2 no laboratório e queria estudar a possibilidade de uma transição de fase sólida para fase sólida induzida por laser, o que já tinha sido mencionado na literatura e discutida no grupo de San Diego, embora não de forma tão sistemática. Nesta altura, fiz uma mudança mental de espectroscopista de laser (por exemplo, medir qualquer coisa que fosse

remotamente útil para fazer uma boa física do laser) para um físico de matéria condensada (por exemplo, usar qualquer técnica para compreender como os sólidos operam e como manipulá-los). Recordo-me de uma conferência em Tsukuba, em 2001, a primeira da série “Transições de fase foto-induzidas”, quando já tinha três anos de pós-doutoramento, na qual encontrei a minha vocação para os Materiais Quânticos.



Figura 2 - Na cerimónia de entrega do prémio: Jose Maria de Teresa, presidente da Divisão de Física da Matéria Condensada (esquerda), e Andrea Cavalleri (direita).

Recebeu o Prémio Europhysics pela “investigação inovadora sobre fases emergentes foto-induzidas em materiais quânticos”.

Já muito cedo no meu doutoramento, interessei-me pelo problema do controlo coerente, a utilização de impulsos óticos para controlar as propriedades dos sólidos. Os químicos estavam a trabalhar neste problema, mas os físicos da matéria condensada não pareciam interessados em qualquer coisa em que o material não estivesse em equilíbrio. Ao longo dos anos, estudei vários tipos de transições de fase nos sólidos, e sempre me focalizei na ideia de que um estímulo coerente poderia gerar novos fenómenos em sólidos, induzindo fases que não ocorrem em equilíbrio. O ingrediente adicional, neste trabalho, foi perceber que estes impulsos teriam de estar às frequências dos THz para serem significativos para os materiais. A minha experiência em instrumentação ótica deu-me confiança de que poderia construir estas fontes e aplicá-las à física da matéria condensada.

Como resumiria as suas principais contribuições neste campo?

Penso que a capacidade de construir instrumentos que ninguém tinha me permitiu fazer perguntas que ninguém fazia. As minhas contribuições podem ser enumeradas em duas linhas: (1) o desenvolvimento do campo da fonónica não linear, a utilização da luz para deformar em ressonância a rede e para criar novas estruturas cristalinas que não são estáveis no equilíbrio, para alcançar

uma forma de descoberta de materiais dinâmicos. 2) a compreensão de que um sistema acionado pode ser mais ordenado do que o estado térmico antes do acionamento, quer devido à capacidade de destruir uma ordem concorrente que inibe um estado coerente, quer por causa da sincronização dinâmica. Estas ideias levaram-me ao problema do aparecimento de estados ordenados foto-induzidos, incluindo a ferroeletricidade, o ferromagnetismo e a supercondutividade.

Como explicaria a um público mais vasto o que é a fonónica não linear e porquê é significativa?

A fonónica não linear é um campo melhor expresso com uma citação de Francis Crick – o descobridor da estrutura de dupla hélice do ADN: “se queres compreender a função, deves compreender a estrutura”. Por extensão, se se conseguir controlar a estrutura com a luz, então poderá controlar-se a função. O segundo ponto é que uma rede cristalina em equilíbrio pode ser deformada ao longo de vários modos de rede (chamados fonões), que podem, eles próprios, ser manipulados com a luz. Consequentemente, um campo eletromagnético adequado pode deformar a rede cristalina e, se o campo for grande, podem ser induzidas alterações grandes na rede. A manipulação de estruturas cristalinas com impulsos THz ressonantes tem permitido todos os tipos de fases induzidas interessantes.

A sua investigação sobre a supercondutividade induzida pela luz tem atraído uma atenção significativa. Vê aplicações possíveis deste fenómeno no mundo real?

A ideia de que um campo de luz poderia aumentar a supercondutividade já era conhecida desde a década de 1960 para a radiação de micro-ondas. Estendemos isto aos impulsos THz e aos materiais quânticos, na procura de um estado induzido de temperatura alta no qual a coerência se estabeleça novamente. Explorámos muitas situações, algumas em que se sabia que outros tipos de ordem reduzem a supercondutividade (por exemplo, as fitas (“stripes”) de carga e de spin) e que os impulsos poderiam, portanto, aumentar a supercondutividade à custa destas fases concorrentes. Noutras situações, o estado induzido foi uma completa surpresa.

Como poderemos avançar a partir daqui?

No que diz respeito às aplicações deste fenómeno, ainda é muito cedo para dizer. Embora estas fases induzidas apresentem alguns indícios de comportamento supercondutor, as suas propriedades macroscópicas ainda não possuem as propriedades espetaculares dos supercondutores em equilíbrio. No entanto, o diamagnetismo tipo Meissner recentemente demonstrado (Fava et al. Nature 2024) pode abrir perspectivas para dispositivos rápidos, com velocidade de processamento alta.

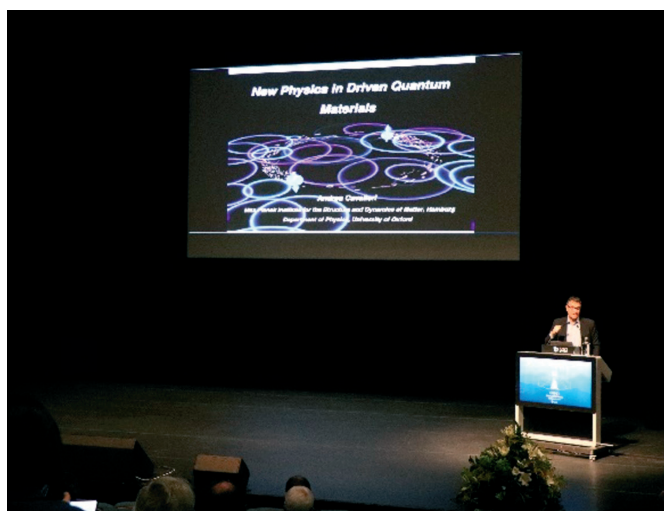


Figura 3 - Palestra de Andrea Cavalleri na cerimónia de atribuição do prémio Europhysics Prize

Como é que impulsos óticos de terahertz e de infravermelho médio criam novas estruturas cristalinas?

Como foi sugerido acima, um cristal possui N átomos por célula unitária e $3N-3$ modos vibracionais, que deformam a estrutura cristalina. Excitar respostas de grande amplitude destes modos normais com a luz de infravermelho médio ressonante e utilizar combinações destes modos normais permite explorar um conjunto amplo de estruturas atômicas que não são alcançáveis no equilíbrio, devido à mistura não linear entre eles. Em segundo lugar, para aplicações em dispositivos, muitas fases dos materiais baseiam-se em pequenas alterações na posição dos átomos. Com a fonónica não linear, podemos redirecionar estas estruturas, por exemplo, para ligar ou desligar a ferroeletricidade ou para induzir ordem magnética em qualquer direção em certos cristais.

Como vê a influência da integração de tecnologias baseadas na luz com materiais quânticos na próxima geração da ciência dos materiais?

Há uma crescente consciencialização de que os estados de não-equilíbrio têm propriedades que não são simplesmente “uma confusão”. Este trabalho ajuda-nos a ver uma nova física interessante nos materiais com propriedades induzidas pela luz, e muito trabalho resultará dos avanços iniciais já feitos.

Viveu em diferentes países e interagiu com diferentes pessoas em todo o mundo ao longo dos anos. Qual é o papel da colaboração interdisciplinar na sua investigação? Como é que moldou a sua investigação e descobertas?

O meu trabalho foi enormemente enriquecido por trabalhar com pessoas de diferentes países, mas também em diferentes áreas. Já mencionei o meu trabalho inicial em ótica não linear e tecnologia laser, em ciência de raios X e em materiais quânticos. Muitas vezes, sinto que sei menos que qualquer especialista numa área determinada em que trabalho, mas que o meu background único me pode permitir fazer ligações que faltam a outros.



Na sua opinião, quais são as capacidades mais importantes que um bom Físico experimentalista deve possuir?

Um gosto apurado na seleção do que é um problema interessante. O resto virá. Se não souber fazer alguma coisa pode pedir ajuda. Se não perceber um pouco de física pode ler um livro ou perguntar a um colega. O gosto tem de vir de si. Não ter medo da execução. Como referido, irá descobrir a solução se tiver um bom motivo para o fazer. Aceder a financiamentos e estar preparado para o procurar. Capacidade de mudar-se para um local novo, para ter os recursos necessários para implementar a sua visão.

Que conselhos daria a um jovem estudante que se interessa por ciências e pensa seguir uma carreira nesta área?

Que não acredite que os especialistas de uma determinada área necessariamente compreendem as coisas a fundo. Confie no seu instinto e resolva os problemas a partir do zero. Faça coisas em que é bom e que são excitantes para si. Encontre as pessoas mais interessantes da área e converse com elas.

Para terminar esta entrevista, qual pensa que será a evolução futura do campo dos materiais quânticos nos próximos anos na(s) sua(s) área(s)? Quais são os principais desafios?

Isto é difícil de dizer, mas aqui vai. Novos materiais. Precisamos de apoiar a descoberta de materiais. Creio que os materiais quânticos “revestidos” (campos eletromagnéticos, cavidades quânticas, microfabricação, etc.) desempenharão um papel importante. Refira-se, em particular, os materiais quânticos em situações em que o meio ambiente faz parte do material – a chamada Emergência 2.0.

Obrigado pela sua contribuição!

Entrevista a Anne L'Huillier, premiada com o Nobel da Física de 2023, por ocasião da atribuição do título de doutora Honoris Causa pela Universidade do Porto

Mafalda Moreira, André Pereira

Departamento de Física e Astronomia, Faculdade de Ciências, Universidade do Porto

Anne Geneviève L'Huillier é cientista e professora no Departamento de Física da Universidade de Lund e foi Nobel da Física 2023. Mantém ainda uma colaboração científica de longa data com a Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, onde foi co-fundadora da *spin-off* Sphere Ultrafast Photonics. Em 28 de maio de 2024, a Universidade do Porto atribuiu-lhe o título de doutora Honoris Causa pelas suas contribuições para o avanço da Física.



Figura 1 - Anne L'Huillier © Nobel Prize Outreach.
Foto: Clément Mori

No âmbito da cerimónia, tivemos oportunidade de conversar com ela, sobre o seu percurso, vida e obra, a partir da qual nasceu a entrevista que aqui apresentamos.

Em primeiro lugar, muitos parabéns por receber este Doutoramento (Honoris Causa) e, claro, por todo o seu longo e incrível percurso na Física. De facto, o trabalho de um Nobel frequentemente reflete anos e anos de trabalho árduo e uma paixão duradoura pela ciência. Para si, onde começou essa paixão?

A minha paixão pela Física começou há muito tempo, quando ainda era criança, nem me lembro bem quando. Gostava de Matemática e de Física, e tive a sorte de ter bons professores que me inspiraram. Depois, também tive a sorte de me deparar com um novo fenómeno – *High Order Harmonic Generation* (HHG) – no início da minha carreira e decidi fazer disso o meu tema de investigação. Trabalho nisto já há quase 40 anos (haha!). E foi também por isso que ganhei o Prémio Nobel.

O Prémio reflete uma publicação de '88, certo? Portanto, um trabalho que surgiu logo após o seu doutoramento.

Foi publicado dois anos depois, exatamente. Ou seja, foi um ano após o meu doutoramento. Eu era uma jovem, muito jovem investigadora.

Uau, isso é muito impressionante.

Para além de ser uma Laureada com o Nobel e investigadora, é obviamente também uma educadora. Para si, qual é um aspeto da educação que aprendeu a valorizar no caminho para se tornar investigadora?

Gosto muito de ensinar. Para mim, é parte do meu trabalho. Mas não seria feliz a fazer apenas investigação, que foi o que fiz no início, mas depois, quando me mudei para a Universidade de Lund, comecei a ensinar e realmente descobri o prazer de ensinar jovens. Para mim, é muito

importante. Dá um equilíbrio entre a investigação – onde nem sempre se sabe para onde vai levar, e às vezes questionamos “será que isto vai ser útil um dia”... Bem, com o ensino sabemos imediatamente que é útil. Portanto, é um equilíbrio muito agradável.

O que diria aos seus alunos ser importante para se tornar um bom experimentalista?

Acho que é preciso ser persistente, teimoso, e realmente continuar a trabalhar nas coisas mesmo que se tenha dificuldades ou fracassos. Mas, realmente, para mim, a persistência é quase a qualidade mais importante para se fazer investigação. Depois, claro, também é preciso ser apaixonado, gostar do que se faz.

Alguma vez sentiu que talvez a vida de investigadora não era para si, ou que deveria mudar para outra coisa?

Houve uma altura em que pensei que talvez devesse mudar de área de investigação. Não sair da investigação, mas mudar de campo de investigação. Porque, sim, não sabíamos como progredir. Mas continuei no meu próprio tema de investigação, apesar de tudo.



André Miguel Trindade Pereira é professor na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto (FCUP) desde 2013 e investigador no IFIMUP. Desde 2020, é presidente da delegação Norte da Sociedade Portuguesa de Física, promovendo iniciativas científicas e educativas na região. O seu trabalho foca-se no desenvolvimento de sensores autoalimentados e dispositivos de colheita de energia, como nanogeradores triboelétricos, piezoelétricos e termelétricos, aplicados a tecnologias como a tatuagens electronicas. Lidera projetos inovadores, utilizando metodologias de trabalho ágeis e colaborando com instituições nacionais e internacionais. André coordena o Laboratório de Eletrónica Flexível dedicado à investigação de materiais avançados.

Outra pergunta que muitas pessoas podem ter: você é apenas a quinta mulher a ganhar um Nobel em Física. Alguma vez pensou que ser mulher na ciência afetou a forma como avançou neste campo?

Acho que sim, de várias maneiras diferentes. Talvez se obtenham algumas oportunidades como mulher, ou se seja mais visível. Mas, por outro lado, também existe sempre um bias inconsciente. Portanto, a minha resposta é que, sim, afetou a minha carreira, mas não posso dizer se foi de uma forma boa ou má. É mais complicado do que isso.

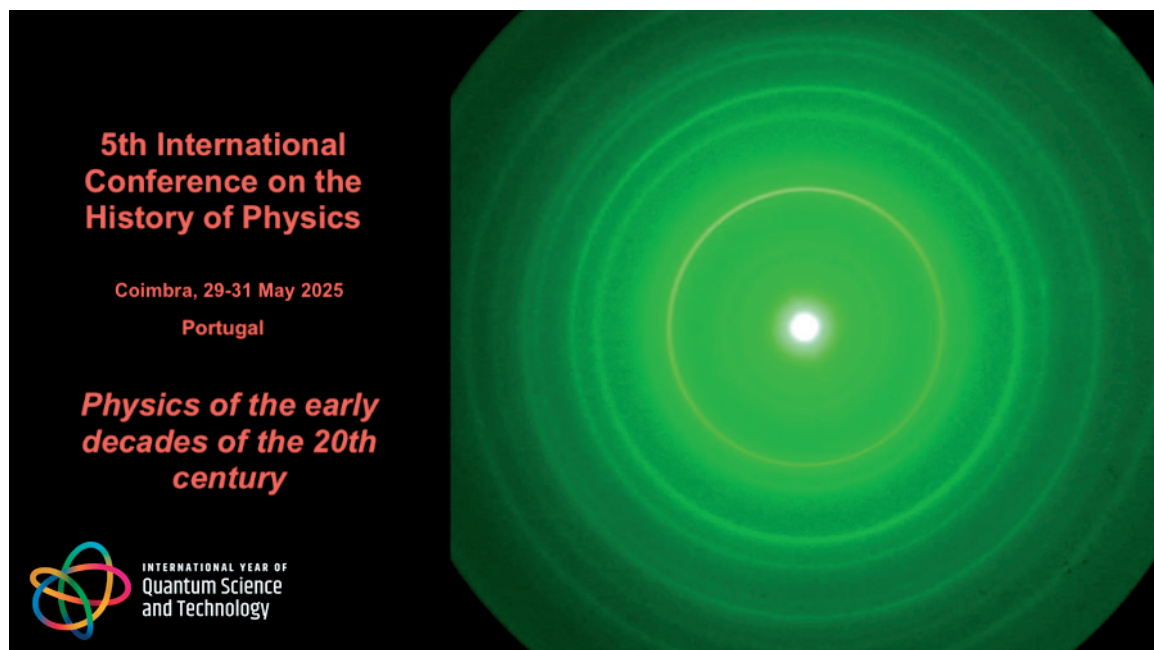
Para finalizar, uma última pergunta. Além do seu próprio trabalho no desenvolvimento destes lasers ultrarrápidos e suas aplicações, quais outros tópicos emergentes na Física lhe interessam?

Oh, essa é uma pergunta difícil. Quero dizer, ainda sou muito apaixonada pelo meu próprio tema de investigação, na verdade – ciência de attosegundos. Uma coisa que também gosto muito é ótica quântica e informação quântica. E, na verdade, essa é uma possível direção do nosso campo, avançar em direção à informação quântica, que acho muito, muito interessante.



Mafalda Moreira é aluna de doutoramento em Física (MAP-Fis) na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto. A sua investigação foca-se no desenvolvimento de dispositivos flexíveis de eletrónica de spin baseados em isoladores topológicos (TI), estudando o desempenho destes materiais em função de propriedades de transporte características, e a sua dependência na estrutura cristalina do material. Publicou um artigo na Advanced

Functional Materials, apresentou cinco comunicações orais e três posters em conferências nacionais e internacionais, e recebeu dois prémios de melhor comunicação oral e um de melhor poster. Os seus interesses científicos incluem física da matéria condensada, nanotecnologia, materiais quânticos, inovações em ciência dos materiais e spintrónica.



Entrevista a Alain Aspect, premiado com o Nobel da Física de 2022, por ocasião da atribuição do título de doutor Honoris Causa pela Universidade do Minho

Tiago Ramalho

Jornalista do Público

Alain Aspect (figura 1) apaixonou-se pela Física Quântica durante a juventude e a partir daí nunca mais se desencantou. Curioso por natureza, Alain Aspect percebeu desde cedo que ainda havia muito para descobrir na área da Física e foi aqui que colocou o seu foco. No seu percurso deparou-se com o teorema de Bell e a questão do “entrelaçamento” quântico, e, na década de 80, decidiu fazer as suas experiências para a testar. Os resultados valeram-lhe um Prémio Nobel, em 2022, juntamente com John Clauser e Anton Zeilinger.



Figura 1 - Alain Aspect.

Aos 76 anos, Alain Aspect esteve na Universidade do Minho para receber o título de Doutor Honoris Causa (figura 2) e contactar com os seus estudantes (figura 3). A cerimónia do doutoramento decorreu no salão medieval da Reitoria, no Largo do Paço, em Braga, no dia 29 de junho de 2024, e contou com a presença da secretária de Estado da Ciência, Ana Paiva.



Figura 2 - Cerimónia de atribuição do título de doutor Honoris Causa. Secretária de estado Ana Paiva (esquerda), Alain Aspect (centro) e Rui Vieira de Castro, reitor da Universidade do Minho (direita).



Figura 3 - Encontro com os estudantes da Universidade do Minho.

A entrevista apresentada em seguida saiu originalmente no jornal Público, na edição de 14 de julho de 2024, e foi efetuada por ocasião da estadia de Alain Aspect na Universidade do Minho. Ela é aqui reproduzida com autorização.

O entrelaçamento quântico é, certamente, a relação à distância mais longa que conheceremos. Se isto pode aguçar a curiosidade, criar uma relação duradoura com a física quântica é bem mais desafiante. Daí a ganhar um Nobel da Física é um pulo de gigante. Aos 76 anos, Alain Aspect veste mais o fato de pedagogo do que de físico. Regressa à sua fase precoce de jovem “arrogante”, à inquietação provocada pela ciência e ao descanso que procura nesta fase da sua vida - os gracejos pelo meio das respostas também o deixam transparecer.

É a primeira vez que o francês está em Portugal e deixa logo o aviso de que há mais para lá do Nobel da Física que recebeu em 2022. Os trabalhos experimentais em 1982 e 1986, em que demonstrou que duas partículas conseguem agir coordenadas mesmo a enormes distâncias, é um marco da física quântica. Ou seja, mesmo a distâncias enormes, a acção numa partícula tem impacto noutra partícula - eis, no mais simplista dos resumos, o entrelaçamento quântico. Essa experiência é considerada a sentença num dos mais fascinantes debates da Física, iniciado em 1927 entre Albert Einstein e Niels Bohr.

Os nomes são pesos pesados da ciência e da física quântica. Embora Einstein tenha sido (mais mal do que bem) associado como adversário da quântica, a discussão era mais minuciosa do que isso - Alain Aspect refuta a ideia de adversário por completo. Afinal, o próprio Einstein é um dos contribuintes mais generosos para a interpretação da física quântica, com a proposta da dualidade partícula-onda da luz, e pela qual ganhou o Nobel em 1922, exactos 100 anos antes de Alain Aspect.

Vamos à discussão. Apesar de nos parecer pouco palpável, no universo quântico a “realidade” dos objectos depende da forma como são observados (conhecido como o efeito do observador): uma partícula pode estar ao mesmo tempo num estado “0” e “1” até que alguém a observe, assumindo aí um dos dois valores possíveis.

Ao considerar estados com mais do que uma partícula, a física quântica parece ficar ainda mais contra-intuitiva devido ao entrelaçamento quântico, no qual as partículas (como fótons, a partícula teorizada pelo próprio Einstein em 1905) podem formar estados onde ficam correlacionadas de forma tão forte que a interacção com uma delas implicava a acção directa com todas as partículas do estado, ainda que estejam separadas a distâncias muito grandes. Este facto levou o famoso físico nascido na Alemanha a pensar que a interpretação da mecânica quântica estaria incorrecta ou incompleta, pois parecia requerer a comunicação entre as partículas a velocidades superiores à da luz no vazio, um limite máximo imposto pela relatividade restrita.

Em 1982 e 1986, Alain Aspect melhorou os trabalhos iniciais de John Clauser, Stuart Freedman e Edward Fry, mostrando que é possível existirem partículas entrelaçadas que não podem ser descritas isoladamente - e que violam as famosas desigualdades de Bell (que serão mencionadas por Alain Aspect) e descartando assim a hipótese de Einstein das “variáveis escondidas”. Mas foi o génio de Einstein que percebeu que a mecânica quântica tinha esta propriedade paradoxal, o que motivou John Bell a imaginar uma forma de testar a hipótese experimentalmente. Einstein teve sempre razão em dizer que não há informação a ser trocada entre as partículas, mas resistiu no confronto com Bohr em aceitar a “acção fantasmagórica à distância” das partículas “quanticamente” entrelaçadas.

Ser o decisor de um debate entre Einstein e Bohr não é coisa pouca, mas a arrogância de juventude de Alain Aspect não se manteve ao longo dos anos. Senta-se confortavelmente num sofá na Universidade do Minho, que lhe atribuiu um doutoramento honoris causa numa manhã soalheira de Maio, recosta-se, cruza a perna e quase conduz parte da entrevista pela sua carreira dividida pelo próprio em quatro actos de auto-estimulação científica. Embora peça descanso, parece que nada lhe tira a genica.

Recebeu o Nobel há quase dois anos. Como é que a sua vida mudou?

Agora todos querem falar comigo, enquanto antes do Nobel apenas as pessoas que sabiam de física falavam. Mas já tinha muitos convites e, de certa forma, é por vezes desagradável quando as pessoas querem falar comigo não para ouvir sobre a minha física, mas apenas porque tenho um Nobel. Isso é irritante.

Por outro lado, tenho muitos convites de pessoas que só me querem ouvir a explicar o que é a física quântica, etcétera. É o tipo de coisa que gosto de fazer. Claro que agora tenho dez vezes mais convites, por isso tenho de rejeitar a maioria e só posso aceitar alguns.

E aceitou vir a Portugal.

A razão pela qual aceitei foi porque fui convidado antes do Nobel.

Não sabia disso.

Sim, por causa do José Viana Gomes [professor da Universidade do Minho que fez parte do grupo de investigação de Alain Aspect]. Ele convidou-me durante anos e, portanto, faço a distinção entre quem me convidou antes e depois do Nobel. É um critério.



Figura 4 - Alain Aspect na cerimónia do Nobel da Física pelo seu trabalho sobre o entrelaçamento quântico.
© Nobel Prize Outreach, foto: Nanaka Adachi

Estava a falar do antes e depois do Nobel. Uma coisa que mencionou numa entrevista após o Nobel é que começou a fazer truques de magia depois de se aposentar da “magia quântica”.

Uma reforma obrigatória. Ainda trabalho, mas não no laboratório.

Ainda tem tempo para os truques?

Depende. Agora não. Mas há momentos em que sim.

Os truques de magia são extremamente inteligentes. As pessoas que criam os truques são mesmo inteligentes. Adoro perceber os truques e, claro, também obriga a muita destreza de mãos, tem de se treinar muito.

Nunca inventei um truque de magia, isso está para lá do meu nível. Mas quando se aprende um truque, temos de repeti-lo centenas de vezes até os dedos conseguirem fazê-lo. E como repito progressivamente, invento um discurso associado à física quântica. Quando o mágico diz “olha, desapareceu!”. Eu digo “ah, este efeito do túnel quântico!”. [Solta a gargalhada.]

Invento palavras quânticas e é divertido. É muito engraçado fazer um truque e fingir que estou a ilustrar uma propriedade quântica estranha. Claro que todos percebem que estou a brincar.

Algumas pessoas não gostam de magia porque têm a sensação de que aquela pessoa está a enganá-las. Mas claro que está a enganar. É um espetáculo e é assim que o devemos ver.

Se não houver engano, não há magia.

Não há coisas sobrenaturais. Apenas não viram porque sou demasiado rápido.

Vamos à verdadeira quântica. Como é que entra neste mundo? É por causa de um enorme livro quando estava a dar aulas em Yaoundé (Camarões)?

É mais antigo do que isso. Em França, tive excelentes estudos em física clássica. Mas sabia que a minha educação em física quântica era muito má e sabia que ela seria essencial. Primeiro, porque sabia que era essencial para toda a física moderna, mas mais especificamente porque sempre fui fascinado por ótica e já sabia que a interação entre a matéria e a luz precisava da física quântica.

Essa é a razão pela qual queria definitivamente estudar física quântica. Tinha tido uma má educação [nesta área] e quando estava nos Camarões tive a oportunidade de ler um novo livro que explicava tudo muito claramente [Mecânica Quântica, de Claude Cohen-Tannoudji, Franck Lalœ e Bernard Diu]. E assim aprendi sozinho.

Contou-lhes?

Claro! Mais tarde tornei-me colaborador de Claude Cohen-Tannoudji, em 1985, porque ele convidou-me para começar um estudo de arrefecimento de átomos com laser depois do meu doutoramento. Conheci-o melhor e depois disse-lhe. Ele ficou contente.

Ainda tem o livro?

Sim, claro.

Pedi um autógrafo?

Provavelmente não. Mas pedi um autógrafo na sua tese. O doutoramento dele é famoso, definiu imensas coisas e pedi um autógrafo aí.

Tem a famosa história do seu primeiro encontro com John Stewart Bell [cujo teorema das desigualdades de Bell é a base da experiência para provar o entrelaçamento quântico] em 1975, quando vai ter com ele para explicar a experiência que quer fazer e que depois permitiria provar o entrelaçamento quântico (figura 5). Tinha apenas 28 anos, na altura.

Quando diz “apenas”, para mim era imenso. Licenciiei-me aos 22 anos, fiz a minha tese de mestrado em dois anos e depois mais três anos de tropa. Podia ter feito a minha tese final [de doutoramento] aos 25 anos. [ri-se]

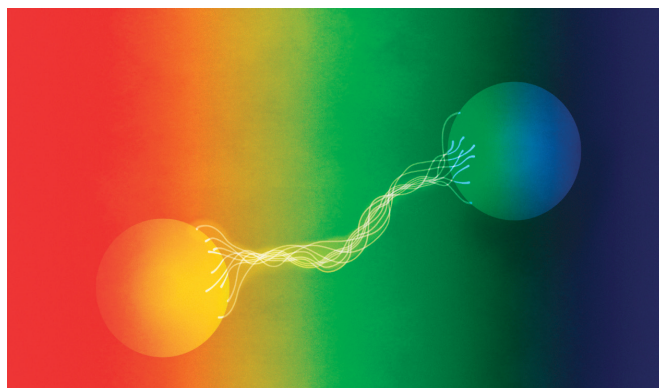


Figura 5 - Quando duas partículas entrelaçadas, mesmo estando muito distantes, uma “acção” sobre uma partícula afecta automaticamente a outra. Johan Jarnestad/Real Academia de Ciências Sueca

Atrasaram-no então.

Depois da tese de mestrado, decidi que só faria investigação se encontrasse algo verdadeiramente entusiasmante. Essa tese era ok, era interessante, mas não o suficiente para continuar.

E o livro aparece nessa fase.

Sim, enquanto estava em África.

Depois de ler o livro, encontra um artigo científico de Bell, mas a ideia de fazer uma experiência destas era pouca apelativa para a maioria dos cientistas, mesmo depois do primeiro teste de Clauser e Freedman, em 1972.

Muito pouco apelativa. Mas eu queria muito trabalhar nisso. E como já existia essa experiência de Clauser e Freedman, procurei desesperadamente no artigo deles se existiam coisas que não tinham sido abordadas. E tornou-se claro para mim.

É a tal história de mudar o ângulo e as definições dos espelhos enquanto os fótons estão a voar. [A experiência de Clauser e Freedman construiu um aparelho que emitia dois fótons entrelaçados ao mesmo tempo, com os espelhos colocados em ângulos fixos. Assim, a experiência apenas registava os fótons que passavam por esse ângulo fixo e não observava os outros - ou seja, nem tudo era medido. Este é um exercício difícil porque estas partículas entrelaçadas são tremendamente frágeis. Alain Aspect construiu uma nova versão do aparelho, em que os espelhos não tinham ângulos fixos, permitindo detectar todos os fótons emitidos. E, com isso, provou que a mecânica quântica estava correcta.].

Para mim era óbvio que estava a tocar no ponto de vista mais fundamental de Einstein, porque há uma frase em que ele diz que devem existir “variáveis escondidas”, mas, por outro lado, ele também era pai da relatividade e dizia que não havia nada mais rápido do que a luz.

E ao fazer esta experiência, sabia que estava a tocar nesta questão para saber se temos uma influência que é mais rápida do que a luz ou não. Não conhecia ninguém capaz de fazer esta experiência naquela altura e eu era arrogante. Dizia: “Sou bom em ótica, vou encontrar uma forma de mudar o ângulo dos espelhos.”

E encontrou.

Sim, mas não era óbvio. Tem de ser assim na investigação. Se quando começamos, tudo está tratado ou é evidente, muito provavelmente não é revolucionário. Em investigação de ponta é preciso ser-se arrogante o suficiente para dizer: não sei como resolver isto hoje, mas vou encontrar uma solução.

A primeira coisa que Bell lhe pergunta quando vai ter com ele em 1975 é: “Tem uma posição permanente?” Falou de investigação pioneira e de ponta, mas hoje a maioria dos investigadores não tem um contrato per-

manente.

Tenho de discordar. Há um momento em que terão um contrato permanente e, nessa altura, poderão fazer o que bem entenderem. Hoje, um investigador em França garante um contrato aos 30, 32, 33 anos. Assim que têm o lugar, caso queiram arriscar, podem arriscar. Poderão não ter promoções, mas não vão ser despedidos, desde que mostrem que estão a trabalhar. No máximo vão estar a perder tempo. Por isso discordo mesmo dessa ideia. Todos dizem que hoje não seria possível. A partir do momento em que têm um contrato, podem arriscar. Claro que não vão publicar um artigo científico todos os anos, nem serão promovidos Mas continuam a ter o salário ao final do mês. É uma questão de motivação.

Mas existe, hoje mais do que nunca, uma dependência de projetos e bolsas na ciência. Muitos dos consórcios e grupos de investigação recebem daí o dinheiro para equipamentos, por exemplo.

É necessário financiamento de base para manter um laboratório, por isso acho que é bom que seja competitivo. Apresenta um projeto e tenta convencer um comité, porque esse comité tem pessoas como eu, são cientistas. Tem de convencer esse júri de que o projeto é bom. E, se for, recebe dinheiro. Não é possível dar dinheiro a todos. Temos de selecionar projetos, os que pareçam mais interessantes, e tem de ser dado financiamento de base para os laboratórios e centros de investigação manterem a sua atividade.

Mas se quer fazer algo novo é bom escrever projetos, é uma forma de clarificar o que querem fazer. Quando visitei Bell e ele me perguntou se tinha um lugar permanente, também me disse que devia escrever imediatamente um artigo com a proposta de experiência - e escrever essa proposta ajudou a clarificar o que queria. Não precisa de saber o fim da história, mas tem de ter pelo menos a lógica. “É interessante por esta e aquela razão, vou atacar este problema assim e creio que vai funcionar.”

Vou contar um pequeno segredo. Depois de entrar neste jogo, pode sempre guardar uma pequena verba de lado [de outros projetos] para testar uma nova ideia. Se correr bem, então sim, escreve um projeto. Se não, não escreve. Essa é a minha experiência.

Mas deixe-me completar a minha resposta. Um aspeto importante é que a taxa de sucesso dos projetos não seja ridículamente baixa. Se esse rácio é ridículamente baixo, então é apenas lotaria. Mas se a taxa de sucesso for entre os 30% e os 50%, então a decisão do comité não é geralmente muito arbitrária. Se for de 5%, por exemplo, é completamente arbitrária porque pelo menos 20% a 30% merecem [ser financiados].

Em Portugal, a taxa de sucesso tem andado entre os 8% e os 15% para financiamento de projetos.

Não é suficiente. Em França chegou a andar nesses valores. Era ridículo. Agora é mais de 25%, o que é ok. A

questão é que parece completamente aleatório. Se tem 30% dos investigadores que merecem financiamento e apenas alguns deles são financiados é puramente arbitrário.

Regressando à quântica. Quando fez as experiências, que lhe vieram a dar o Nobel, tinha a percepção de qual era a resposta que queria?

Numa experiência não se pode dizer eu quero isto. Eu ficaria feliz se, no fim, Einstein vingasse. Mas, por outro lado, percebi muito rapidamente que, mesmo que Einstein estivesse errado neste tópico em específico, teria sempre todo o crédito por ter levantado a questão do entrelaçamento. Foi também Einstein quem descobriu que o entrelaçamento é extraordinário. Então ele tem o crédito por isso. E mantenho a mesma admiração por ele.

Acaba por ser injustiçado quando falamos de mecânica quântica?

Não.

É curioso que ele seja visto como um adversário.

Por isso, quando comecei o meu doutoramento, muitas pessoas me diziam que o Einstein nunca percebeu nada de mecânica quântica. Então comecei a ler os trabalhos dele e é um incrível cientista em mecânica quântica. Ele fez imensas coisas. E parece-me que cada vez mais pessoas percebem agora que Einstein tem um papel importante na emergência desta área. A certo momento, sim, era comum dizer-se que era bom na relatividade, mas não sabia nada sobre quântica. Mas leiam os estudos e depois discutimos.

E sabe, estou a escrever um novo livro Tenho já este pequeno livro [Einstein e as Revoluções Quânticas, de momento apenas disponível em francês] que será traduzido em português. Este livro conta precisamente a história de Einstein e a quântica - e é um livro para o público não científico. E agora estou a escrever um livro um bocadinho mais difícil, que terá texto e depois um apêndice com mais equações e explicações, cujo título será: Se Einstein soubesse. Qual seria a sua reação à minha experiência? Ninguém pode saber, mas podemos lançar algumas hipóteses.

E qual é a sua hipótese?

Ele teria aceitado a não-localidade. Porque a outra hipótese é renunciar à realidade e creio que Einstein não poderia renunciar à realidade. Na minha opinião, ele aceitaria algum tipo de não-localidade.

Depois das experiências com entrelaçamento quântico nos anos 1980, deixou esta área de lado.

Vá lá, fiz uma experiência muito importante com Philippe Grangier: criámos as primeiras fontes de fóton-único que está em todos os livros de ótica quântica. Desenvolvemos a primeira fonte de fóton-único e com isto demonstrámos a dualidade partícula-onda para uma única partícula - precisamente o debate de 1927 [entre Einstein e Bohr].

[O trabalho de Aspect e Grangier permitiu criar fótons-únicos - que estavam, portanto, entrelaçados -, mas que os dois físicos conseguiram “separar” e, ao mesmo tempo, manter o estado quântico. É muito relevante na criptografia, dado que se enviar 20 fótons em posições codificadas e alguém só receber dez, é sinal de que houve uma interceção.]

Depois sim, fui trabalhar para o arrefecimento de átomos por laser.

Avançou para essa área que é algo diferente do que estava a fazer.

Sim, queria mudar.

É difícil trabalhar no mesmo tema ano após ano?

Não queria ser o tipo que anda a melhorar as experiências sobre as desigualdades de Bell para o resto da minha vida. O que eu gosto de fazer são experiências, provas de conceito. Isto é o que eu gosto. Gosto de atacar algo novo, criar uma prova de conceito, mesmo que não seja o ideal, pelo menos mostra algo. A minha experiência de 1982 [em desigualdades de Bell] já não estava longe da perfeição, mas pelo menos provei algo novo e depois, 16 anos mais tarde, [Anton] Zeilinger fez uma experiência melhor, muito melhor. Mas demorou mais 16 anos. Eu não queria ser o tipo a trabalhar durante 16 anos só para melhorar a minha própria experiência. Prefiro fazer outra coisa qualquer.

E porquê o arrefecimento de átomos? O que o atraiu?

Claude Cohen-Tannoudji. Ele era Deus e Deus estava a chamar-me para trabalhar com ele - não tinha como resistir. Era o nosso herói. Tinha imenso prestígio e as palestras dele no Colégio de França [pausa e meio suspiro]. Eu ia ver e ele nem me conhecia. Ouvia as palestras e ficava maravilhado. Se há alguém que o fascina imenso e lhe pede para vir trabalhar com ele ... Como é que podia resistir? Eu queria mudar e ele pede-me para ir trabalhar com ele, portanto a decisão era óbvia.

Como explicaria este arrefecimento de átomos? Não é o conceito mais simples.

Diria que é mais simples do que as desigualdades de Bell. Pode usar para explicar aos seus leitores. A temperatura é um movimento microscópico. Quando um gás é quente, as moléculas nesse gás são extremamente velozes. Quando o gás é arrefecido, as moléculas no gás são mais lentas.

Então agora, se tem um vapor de átomos, consegue controlar a velocidade dos átomos e reduzir a velocidade apenas arrefecendo a temperatura. Mas o ponto essencial é que podemos arrefecer a temperatura bastante abaixo do que tínhamos conseguido antes. Temos uma variação de temperatura que vai até ao zero absoluto, certo?

Certo.

O que significa o zero absoluto? Significa descanso total, de tudo! Não há movimento. A nossa temperatura ambiente anda por volta dos 300 *graus Kelvin*. Quando começámos a trabalhar, as pessoas sabiam como arrefecer até aos quatro *graus Kelvin*, que é a temperatura do hélio líquido. E mesmo abaixo disso, mil vezes abaixo disso, ou seja, 0,001 *graus Kelvin*. Nós chegámos a seis ordens de magnitude abaixo. Isso significa que, em vez de mil vezes menor do que um *grau Kelvin*, fomos a um milhão e a um milhar de milhão de um *grau Kelvin*. Ou seja, extremamente próximo do zero absoluto. O zero absoluto não se consegue atingir - e vai-me perguntar porquê.

Porquê?

A explicação é muito, muito, muito fácil de entender. Qual é a dificuldade? Quando se está a arrefecer, a dificuldade não é reduzir a temperatura em um ou dez graus. O que é difícil é cortar por um fator de dois. Ou seja, tenho 300 *graus Kelvin*, com algum esforço corto para 150 *graus Kelvin*. Depois, corto outra vez para 75 *graus*, etcétera, etcétera. É por isto que nunca se chega ao zero absoluto. Porque o que temos é sempre de cortar o intervalo que existe e reduzir. Então fomos até ao milhar de milhão de um *grau Kelvin* e isto era mesmo entusiasmante. Porquê? Porque com um laser [para arrefecer] conseguimos controlar o movimento dos átomos. Era como um manipulo para controlar o movimento dos átomos.

E depois há a ótica quântica de átomos.

A ótica quântica de átomos é a minha terceira fase. Era aprender como manipular átomos. Mudei-me para o Instituto de Ótica em Orsay [França] para começar um novo grupo de investigação utilizando este método de manipular átomos para fazer ótica com átomos, como tínhamos feito ótica com fotões.



Figura 6 - Alain Aspect, 2022. © Jérémy Barande, Ecole Polytechnique

Este é outro momento em que queria um novo desafio e combinou as duas fases anteriores?

Gosto de combinar e mudar as coisas. Explorar um novo campo. Gosto de explorar o campo e uma vez estabilizado, as pessoas começam a fazer coisas mais e mais precisas, que é algo que tem de ser feito, mas não é o meu

trabalho favorito. Prefiro explorar. Mesmo que a experiência não seja perfeita e depois outras pessoas gostem de fazer trabalhos extremamente precisos. Bem, assim há trabalho para todos.

Também temos de falar sobre computação quântica, claro.

Essa é a quarta fase.

Precisamente. A Pascal, por exemplo [empresa de computação quântica que financiou].

Não só a Pascal. Antes, fizemos simulação quântica. Uma vez que dominamos o movimento dos átomos, somos capazes de estudar o fenómeno que já tinha sido descrito teoricamente, mas não tínhamos visto diretamente. Essa é a ideia da simulação quântica.

O que é que isto significa? Tem eletrões num pedaço de matéria. Cria teorias a dizer que o motivo pelo qual a matéria se comporta de certa maneira é porque os eletrões movem-se e fazem isto e aquilo. Por exemplo, perceber os fluxos de correntes ou como controlar a corrente num semiconductor. Então, temos todos estes modelos de física da matéria condensada que não conseguimos testar diretamente. É sempre indiretamente. Observo se mudo a voltagem ou a temperatura, observo isto e aquilo e constroem-se modelos baseados em física quântica, mas em geral não se conseguem ver [os seus efeitos] diretamente. Existia uma ideia de Richard Feynman em 1982: a ideia de simulação quântica. Postulava que se se conseguisse substituir um eletrão num pedaço de matéria por outra coisa mais fácil de observar, seria ótimo. Foi exatamente o que fizemos, substituímos os eletrões por átomos ultrafrios, porque os eletrões estão num campo elétrico dentro da matéria. Nós substituímos esse campo elétrico através de feixes de laser, emitindo forças nos átomos. E no fim, conseguimos estudar o fenómeno que as pessoas inventaram do ponto de vista teórico, mas nunca viram diretamente. O melhor que fizemos foi mostrar a localização de Anderson, um fenómeno quântico fantástico e do qual só existiam provas indiretas da sua existência - mas conseguimos mostrar diretamente.

E desta ideia de simulação quântica, alguns dos meus antigos estudantes começaram a ideia de usar um simulador quântico num computador quântico. Perguntaram-me o que achava. Eu encorajei-os. Quando jovens querem começar uma empresa, isto significa dar também algum dinheiro. E para mostrar que realmente confiava no trabalho deles, dei algum dinheiro. E é assim que também estou envolvido na empresa. Mas é porque são antigos estudantes meus, sei o quão bons são e é um belo projeto.

E quais são as suas ideias para o futuro desta área?

As pessoas que dizem saber o que vai ser o futuro [da computação quântica] são vigaristas. Posso dizer-lhe que há uma boa probabilidade de que algo interessante possa ser alcançado com aquilo que pensamos ser a computa-

ção quântica.

Ainda existem entraves enormes, mas a minha experiência diz-me que quando algo não é proibido por uma lei fundamental da física, mais cedo ou mais tarde os investigadores e engenheiros conseguem ser bem-sucedidos. O melhor exemplo que conheço é o da deteção de ondas gravitacionais. Quando começou nos anos 1990 parecia uma loucura completa. Bem, 20 anos mais tarde, tiveram sucesso. Então, à escala de décadas, estou seguro de que existirão trabalhos muito úteis para a computação quântica.

Agora, será uma revolução? Será uma coisa interessante apenas para algumas áreas? Ninguém pode dizer. Quem poderia antecipar a aplicação das lâminas no início? Leiam os jornais. Os físicos estavam entusiasmados porque era uma coisa nova. Mas não tinham planeado toda a aplicação da lâmina. Portanto, se alguém lhe disser “sei que vai funcionar” ou “sei que não vai funcionar”, por favor. Quando as pessoas investem em capital de risco, investem em dez empresas, dez *start-ups*, e sabem que nove em cada dez vão falhar, mas há uma que irá florescer. Estamos precisamente nessa situação quanto à computação quântica. É um ótimo momento para trabalhar, inventar e investir - isto para as pessoas que têm dinheiro. Mas não invistam o dinheiro todo. [mais risos]

Há o outro lado da moeda. Temos computação quântica e temos a criptografia quântica, uma área que também cresceu bastante.

A criptografia quântica já está a trabalhar. É pioneira, mas funciona. E está mais avançada do que a computação quântica.

É um enorme passo face à criptografia tradicional.

A criptografia quântica é outro mundo.

Será mais importante na melhoria da nossa segurança ou será meramente militar?

Diria que nenhuma. Bem, a componente militar talvez. Mas olhemos para a diplomacia. A troca [de informações] entre a capital portuguesa e a embaixada de Portugal em qualquer lado. Precisam de comunicações secretas. Lembre-se do WikiLeaks, foi um enorme escândalo. Temos de entender que com o método atual de codificar, pode não conseguir decifrar já, mas pode monitorizar e daqui a cinco anos se calhar já consegue decifrar aquela comunicação. E cinco anos não chegam. O WikiLeaks é um exemplo disso. Cinco anos depois dirão Ah, Portugal tomou esta decisão - será um enorme escândalo na mesma.

Para mim, a diplomacia será um dos melhores exemplos de uma área em que a criptografia quântica será útil, porque, até onde compreendemos a física quântica, não há forma de um espião conseguir decifrar a mensagem que enviámos - mesmo que o computador seja cem vezes mais poderoso. Na criptografia atual, devemos assumir que o adversário não tem um computador muito mais poderoso do que nós ou que não tem o teorema matemático

[para decodificar as mensagens encriptadas]. Não há prova de que tal teorema não exista e se o adversário tiver esse teorema, pode ler calmamente tudo o que escreveu. Na criptografia quântica, não há tal assunção. Só tem de assumir que a mecânica quântica está certa. E até ver, temos boas razões para achar que está.

[Truz-truz, ouve-se durante a entrevista. “Sim?”, responde Alain Aspect a quem aparece à porta a avisar que estamos a atrasar um encontro com estudantes da Universidade do Minho. “Não me pressionem. Preciso de relaxar”, ri-se, o físico francês, recostando-se novamente no sofá.]

Tenho mais três questões, vamos a isto. A primeira é sobre o gato de Schrödinger, dado que esta é uma imagem recorrente quando falamos da sobreposição quântica - embora seja apenas uma experiência de pensamento, não realizável. Esta imagem é mais útil ou prejudicial para a mecânica quântica?

É uma imagem. Quando as pessoas tentam entrelaçar mais e mais bits quânticos para um computador quântico, em certa medida estão a tentar construir o gato de Schrödinger. Querem ter muitos milhares de partículas, até quase um milhão, enquanto no gato há biliões e biliões de átomos. É só uma imagem. Mas quando as pessoas tentam entrelaçar os bits quânticos, estão a perseguir a ideia do gato de Schrödinger, a ideia de quantos bits quânticos podemos entrelaçar sem destruir tudo devido à incoerência. E aí deixa de ser quântica e passa a ser [física] clássica. Portanto, é útil? Bem, pelo menos atrai atenção para o facto de que entrelaçar muitas partículas é difícil. É uma imagem divertida.

Há diferentes abordagens relativamente à mecânica quântica, como o determinismo forte [defendido por Stephen Hawking]

Isso não me interessa. [Silêncio.] Posso explicar porquê. Se aceitar esse “superdeterminismo” [segundo esta perspectiva, todas as acções estão dependentes das escolhas anteriores, numa eterna relação de causa-consequência], significa que qualquer coisa aqui foi determinada pelo passado. Então, para quê ser um físico a rodar um puxador para perceber como muda? Se me disser que quando rodo o puxador, não sou de facto livre para rodar o puxador, uma vez que foi determinado pelo passado que assim o faria não é um mundo que me agrada.

Há ainda o outro extremo: os multiversos.

Não tenho opinião sobre os multiversos. Mas o “superdeterminismo” é logicamente possível, mas significa que todas as questões que me fez foram determinadas pelo passado, quiçá no tempo do Big Bang, e a minha resposta é determinada pelo passado. Por que é interessante que tenhamos uma discussão? É igual para um físico. Se eu soubesse que rodar o puxador tinha sido determinado no passado, não fazia sentido ser físico.

Para terminar, há algo que não sabe e queria ainda descobrir.

Sim: quantos bits quânticos conseguimos entrelaçar? [Risos].

100 anos da Mecânica Quântica

Carlos Herdeiro

Departamento de Matemática, Universidade de Aveiro

herdeiro@ua.pt

No último mês de 2024, o autor desta crónica participou numa conferência no Instituto Erwin Schrödinger, em Viena, Áustria. Por coincidência, pernitoou num hotel que encarava a morada onde Schrödinger passou os seus últimos anos de vida, entre 1956 e 1961, ano em que faleceu - Fig. 1. Talvez esta presença do físico austríaco, imortalizado e celebrado na equação fundamental da Mecânica Quântica, pretendesse lembrar que 2025 foi declarado pelas Nações Unidas como o Ano Internacional da Ciência e Tecnologias Quânticas.



Figura 1 - Morada de Schrodinger em Viena entre 1956 e 1961 e detalhe da placa comemorativa no edifício (fotos do autor).

Em 1925-26 as formulações matemáticas da mecânica quântica foram estabelecidas. Werner Heisenberg, Max Born, Pascual Jordan e Schrödinger formularam a mecânica matricial e a mecânica ondulatória, inaugurando uma nova era no estudo do mundo subatômico. Desde então, conceitos como a dualidade onda-partícula, quantização de quantidades físicas, interpretações probabilísticas de eventos, o entrelaçamento quântico ou o princípio da incerteza, transformaram a nossa compreensão da Natureza, desafiando noções clássicas de tempo, espaço, causalidade e da própria realidade objetiva.

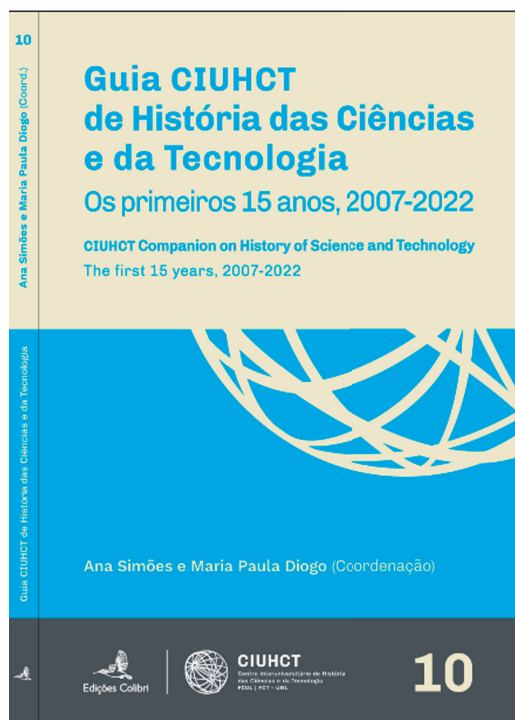
O último século provou que estas ideias não são meras abstrações teóricas; hoje encontram-se presentes na tecnologia da sociedade moderna, desde toda a eletrónica, ao laser e à energia nuclear. Para além de moldarem o presente, a ciência e as tecnologias quânticas prometem continuar a esculpir o futuro. Computadores quânticos, por exemplo, estão a começar a resolver problemas que ultrapassam a capacidade dos supercomputadores clássicos, com aplicações que vão da otimização de sistemas logísticos ao desenvolvimento de novos materiais e fármacos. Redes de comunicação quântica prometem segurança sem precedentes contra ataques cibernéticos, utilizando princípios de entrelaçamento para proteger informações.

Mas 2025 é mais do que uma comemoração de realizações tecnológicas; é também um momento de reflexão. O impacto das tecnologias quânticas na sociedade é profundo e multidimensional. Questões éticas, como o acesso equitativo às novas tecnologias e a preservação da privacidade, tornam-se centrais neste admirável (e interconectado) mundo novo. Além disso, a crescente complexidade destes sistemas exige uma colaboração internacional sem precedentes, rompendo barreiras culturais, políticas e económicas. Em paralelo cresce o risco de criar uma sociedade de utilizadores dependentes de tecnologias que não entendem, tornando-se facilmente manipuláveis.

Neste sentido, este ano simbólico e comemorativo serve para escolas, universidades e instituições de investigação por todo o mundo organizarem eventos para aproximar a ciência quântica do público. O desafio é traduzir conceitos muitas vezes contraintuitivos em ideias acessíveis, educando a população com espírito crítico e inspirando uma nova geração de cientistas e engenheiros. Afinal, a ciência é, antes de tudo, um empreendimento humano, movido pela curiosidade e pelo desejo de compreender os mistérios do universo. E aqui, a ciência quântica tem provocado alguns dos mais fascinantes debates do último século sobre ciência e filosofia.

Num outro desenvolvimento, a meio caminho entre o presente e a génese da Mecânica Quântica, 2024 e 2025 celebram o casamento não consumado entre Mecânica Quântica e a Gravitação. Há meio século, Stephen Hawking publicou, em 1974 e 1975, dois artigos que mostravam que a aplicação da Mecânica Quântica aos objetos mais compactos do Universo - buracos negros - tornava-os menos negros, fazendo-os evaporar. Foi o início de uma revolução inacabada. De facto, o estudo Quântico da Natureza ainda oferece este enorme desafio teórico por vencer, e com uma extraordinária promessa de recompensa: um possível vislumbre do início do Universo.

Guia CIUHCT de História das Ciências e da Tecnologia



«Guia CIUHCT de História das Ciências e da Tecnologia – Os primeiros 15 anos, 2007-2022»

Ana Simões e Maria Paula Diogo (Coordenação)

Edições Colibri/CIUHCT, 2022, 427 p.,

ISBN 978-989-566-265-4.

José Braga

O Centro Interuniversitário de História da Ciência e Tecnologia (CIUHCT) foi fundado em 2007, tendo-se tornado uma referência na área da História das Ciências, Tecnologia e Medicina (HCTM), pela quantidade e qualidade da produção científica.

A pesquisa do CIUHCT inspira-se nas redes de investigação europeias, refletindo-se nos conceitos apropriação – circulação – inovação, presentes nos textos escolhidos para figurar neste volume. Este livro, concebido como Companion, seguindo a tradição anglo-saxónica, com a funcionalidade de um dicionário temático e a profundidade de uma enciclopédia, tem como desiderato trazer os principais resultados da investigação do Centro ao grande público de língua portuguesa. Reunindo 15 artigos, a obra ilustra abordagens temáticas, conceptuais e metodológicas utilizadas ao longo dos 15 anos de existência desta unidade de investigação.

Os artigos 1, «Ciência e tecnologia na Periferia europeia: algumas reflexões historiográficas», e 4, «Documentar coleções: a pedra angular para mais história da ciência nos museus», apresentam reflexões importantes para novas análises ao contexto centro/periferia e ciências e tecnologias europeias/ciência e tec-

nologia na Europa, questionando a definição de espaço europeu ao porem em causa a visão de uma Europa monolítica.

O primeiro texto questiona as visões determinísticas e estáticas da abordagem “Centro/Periferia”, sublinhando o papel ativo daqueles cujas intervenções moldaram os processos de apropriação, numa mudança de ponto de vista de «aquilo que foi transmitido» para «como aquilo que foi recebido foi apropriado». Os autores sublinham que o estatuto de centro e periferia depende do tema e varia ao longo do tempo e que existe também um papel epistemologicamente ativo de espaços considerados periféricos, contrariando a visão historiográfica hegemónica. Substituem a transmissão pela apropriação, devendo estudar-se a dinâmica e as condições que possibilitam o surgimento de espaços de legitimação de novas práticas, bem como a resistência às novas ideias e a forma como é contornada. As viagens são maneiras de promover a comunicação entre locais, que são nós interligados, emergindo o conceito de trabalho em rede. Encarando professores e alunos como agentes ativos na criação de conhecimento, o ensino implica interação e emerge como atividade multidirecional, sendo as ideias reinventadas,

numa apropriação seletiva: textos didáticos científicos, escolas de investigação e traduções emergem como objetos de estudo.

No artigo 2, José Alberto Silva retrata a vida de Teodoro de Almeida (1722-1804), fundador da Academia das Ciências de Lisboa, mostrando que a maioria dos argumentos sobre teologia natural associados a países protestantes foram usados também no Portugal católico.

Com efeito, a maioria dos textos aborda o papel dos estrangeirados portugueses ou dos bolséis espanhóis na circulação do conhecimento pela Europa, introduzindo o texto 3 os conceitos de «localidades em trânsito» e circulação criativa. «Defender a identidade da metrópole através da política colonial: o papel dos naturalistas portugueses (1870-91)», texto 6, «Para maior credibilidade: ciência e ensino jesuítas no Portugal moderno», artigo 7, e «Moldar médicos e sociedade: a imprensa médica portuguesa (1880-1926)», texto 10, também espelham estas temáticas.

É também o caso de «A tese de Zilsel, a cultura marítima e a ciência ibérica no início da Europa moderna», artigo 5, por Henrique Leitão e António Sanchez. Chamando a atenção para aspetos económico-sociais no desenvolvimento científico, esta tese sustenta que a ciência nasce quando, com o progresso tecnológico, o método experimental dos artesãos supera o preconceito contra o trabalho manual e é adotado por estudiosos universitários. A receção da ideia foi limitada pois tinha uma conotação marxista e o argumento central foi exposto de forma esquemática: nunca apresentou circunstâncias históricas em que tal acontecia de forma convincente. A situação social que permitiu a interação em grande escala entre artesãos e estudiosos encontra-se nas viagens e descobertas marítimas portuguesas e espanholas dos séculos XV e XVI. O confronto europeu com novos mundos prenunciou uma nova forma de fazer ciência, dando lugar à abertura a novas ideias, instituições específicas, ensino e desenvolvimento técnico ao nível da náutica, construção naval, instrumentos e cartas. Surgiram cargos intermédios entre o estudioso e o artesão, com reconhecimento social e competência científica: pilotos, cosmógrafos e professores. Moviam-se entre estratos sociais e locais diferentes. Também o pessoal técnico (pilotos e cartógrafos) melhorou a sua posição social. Promoveu-se a utilização e produção de textos em vernáculo, imperativo nacional pela necessidade de transmitir conhecimento, pois camadas sociais sem formação universitária estavam envolvidas em atividades técnicas e científicas a uma escala inaudita. A mistura entre o mundo dos estudiosos e o dos artesãos é central na tese de Zilsel, tal como a ideia de progresso científico através do conhecimento e do domínio da natureza, o que estava enraizado na Península Ibérica seiscentista.

Outros temas abordados são as cidades e a história urbana, em «Utopias urbanas e o Antropocénico», artigo 8; a nação, com «Tecnologia e nação: aprender com a periferia», texto 9; a aplicabilidade do conceito de «guião» para esclarecer as dimensões do traçado urbano tecnológico das ruas, no texto 11; os livros, com o artigo 12, «Sobre a censura dos livros de Tycho Brahe na Península Ibérica», ou as ferrovias, no texto 13, «Revisitar o imperialismo ferroviário: o fracasso da linha Macau-Guangzhou». As interseções da horticultura, dos jardins e das abordagens à

paisagem face à história das ciências no nosso país, com o artigo 14, «Exposições de flores para um regime nacionalista: a propaganda e a imprensa na ditadura portuguesa da década de 1940»; ou a dicotomia natureza-cultura/tecnologia, no texto 15, «Prometeu no jardim do Éden: um ensaio sobre o conceito de Antropocénico».

Ainda que não possua aparelho iconográfico, este livro reúne artigos que se encontravam dispersos por várias publicações em inglês, tornando-os facilmente acessíveis em língua portuguesa. É um importante marco para o CIUCHT, celebrando a sua história e contribuindo para reforçar uma identidade profissional entre os historiadores das ciências, ao divulgar conceitos, práticas metodológicas e temáticas próprias. Será útil a estudantes, investigadores e professores tanto em HCTM como História, Geografia ou Urbanismo e mesmo Ciência política.



José Braga, Professor do Ensino Básico e Secundário, membro do Centro Interuniversitário de História das Ciências e da Tecnologia (CIUHCT).

Porque não cai a Lua?

Constança Providência¹, Rita Wolters²

¹ CFisUC, Departamento de Física, Universidade de Coimbra

² Ilustradora

Material

- Copo de papel e fio ou balde com asa
- Bola pequena ou uma noz

A força da gravidade

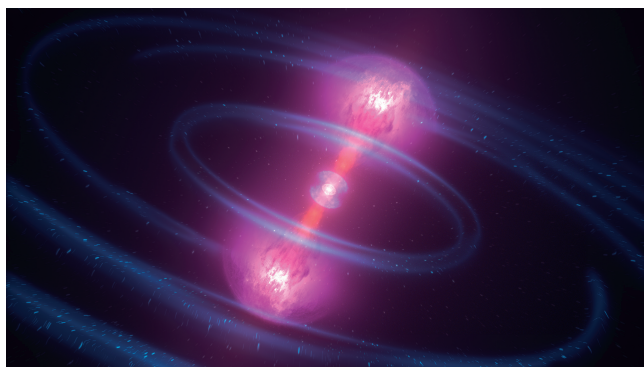
Toma uma bola e coloca-a numa mesa. Ela fica parada sem se deslocar. Dá-lhe um empurrão: o que acontece? Deslocar-se-á! Para colocares a bola em movimento, tens de exercer uma força sobre ela! E se a quiseres colocar em movimento numa direção diferente? Poderás escolher a direção em que a bola se deslocará ao dar-lhe um empurrão nessa direção. (Fig 1a e Fig 1b)

Agora levanta a bola e larga-a. O que acontece? Ela cai. (Fig. 2) Mas porquê, se apenas a deixaste cair sem a empurrar? Se ela se move é porque há uma força a atuar sobre ela. Há uma força que a puxa para o chão! Essa força é a força da gravidade. Essa força é exercida pela Terra sobre a bola. Tu próprio sentes a força da gravidade. Podes medir a intensidade da força exercida sobre ti colocando-te em cima de uma balança. Todos os objetos com massa sentem a força da gravidade: quanto maior a massa maior o peso, isto é, maior a força da gravidade. Podes colocar diferentes objetos em cima de uma balança para comparar os seus pesos.



Lua. Créditos: Gregory H. Revera

Mas se todos os objetos com massa sentem a força da gravidade a Lua também sente. E porque não cai a Lua sobre a Terra, se a bola caiu? Na verdade a Lua não cai porque ela está em movimento à volta da Terra. A Lua dá uma volta completa em torno da Terra em 27 dias, 7 horas, 43 minutos e 11,5 segundos (Fig. 3). Em média, move-se com uma velocidade de aproximadamente 1 km/s ou 3600 km/h! É também por esta razão que a Terra não cai sobre o Sol: a sua velocidade média em volta do Sol é de aproximadamente 30 km/s ou 108 000 km/h! No Universo os astros movem-se à volta uns dos outros. E, na verdade, às vezes colidem!



Fusão de duas estrelas de neutrões.
Crédito: NASA's Goddard Space Flight Center/CI Lab

Podes perceber como o movimento impede um objeto de cair quando está sob a ação da força da gravidade através de uma experiência muito simples. Prepara um copo com uma pega, fazendo dois pequenos furos em lados opostos da borda do copo. Depois, passa um fio pelos dois furos e ata as duas pontas. Também podes usar um balde de praia. Coloca a bola no copo e vira a boca do copo para baixo. A bola cai, claro! Volta a colocar a bola no copo, segura-o pela alça e coloca-o em movimento, de modo a obrigar o copo a descrever círculos verticais, como vês na Fig. 4. A bola cai?

A bola não cai! É por estar em movimento que a bola não cai. Consegues repetir experiência enchendo o copo com água, mas sem te molhares? Faz a experiência na rua! Qual é o truque para a bola ou a água não saírem do copo? Tens de girar o copo com uma velocidade suficientemente grande. Com a bola no copo experimenta a girar o copo cada vez mais lentamente, e observa o que acontece.

De facto, ocorrem muitas colisões entre astros no espaço! Quando duas estrelas colidem, podem formar uma estrela com uma massa maior ou, inclusive, um buraco negro. Foi precisamente isso que aconteceu a 17 de agosto de 2017: estrelas de neutrões com uma massa 40% maior do que a massa do Sol colidiram, formando uma estrela com quase três vezes a massa do Sol. Porém, esta transformou-se rapidamente num buraco negro, ao perder alguma da sua velocidade. Podes ver uma simulação desta colisão no site da NASA: <https://www.youtube.com/watch?v=sgkDoSbHHVU>. Da colisão resultou uma explosão de raios gamma e a emissão de um clarão de luz a que foi dado o

nome de kilonova. Os cientistas consideram que é num ambiente como este que se formam alguns dos átomos pesados que conhecemos, como os átomos de ouro.

Bibliografia

Ciência a Brincar: descobre o céu! Constança Providência, Nuno Crato, Manuel Paiva, Carlos Fiolhais, Editorial Bizâncio, 2005

Agradecimentos

Agradeço à Lucília Brito a leitura atenta e às suas propostas para tornar o texto mais claro.

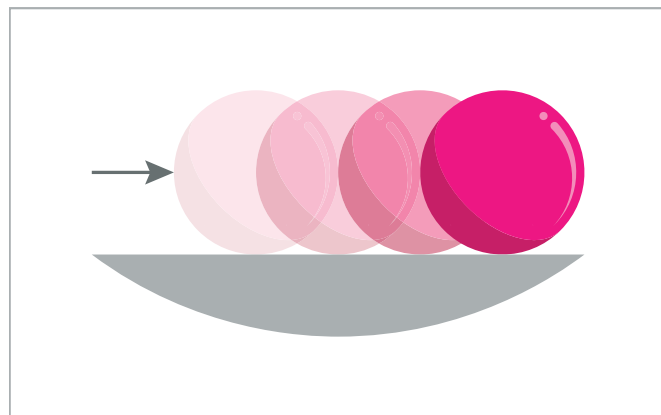
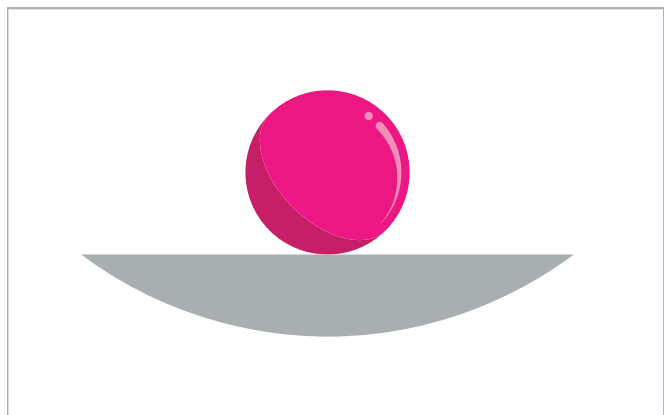


Figura 1: Bola parada e bola em movimento sobre a mesa,

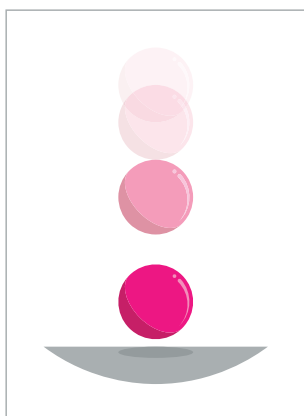


Figura 2: Bola a cair na vertical.

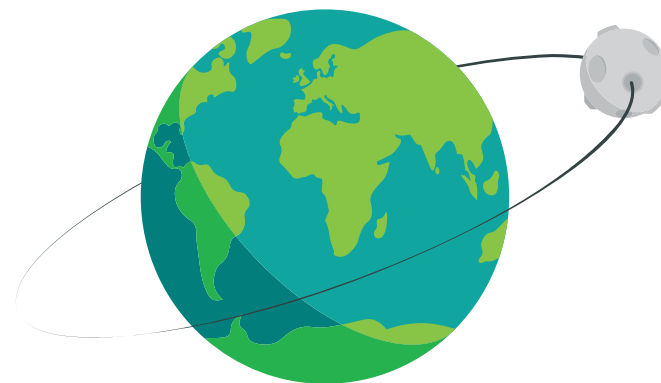


Figura 3: Lua roda em torno da Terra

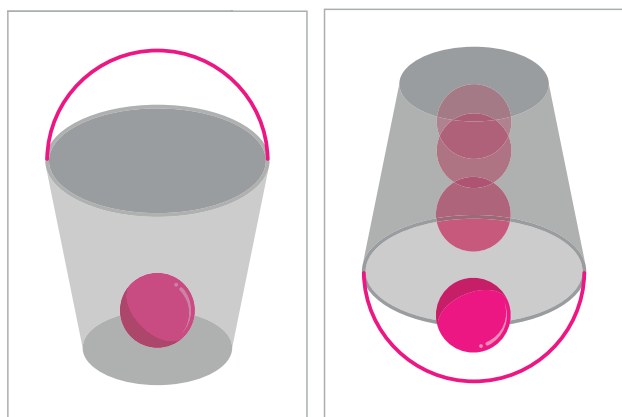


Figura 4: Bola no copo, bola a cair do copo, bola no copo agarrado pela pega a descrever uma órbita vertical.

Quantos animais e plantas vê
ao espreitar pela sua janela?
Pela nossa, vemos 252 espécies
de fauna e mais de 900 espécies
e subespécies de flora.



Visite-nos em
biodiversidade.com.pt

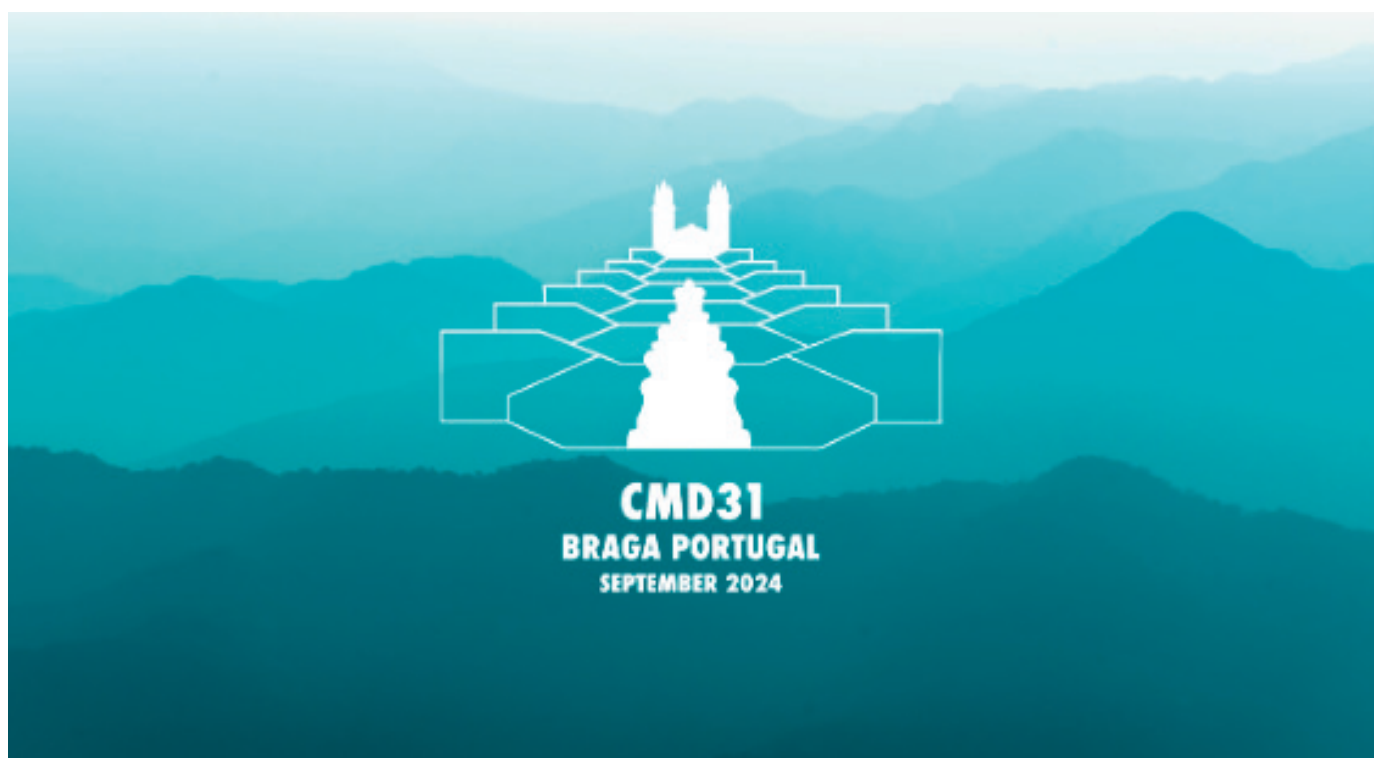
BIODIVERSIDADE

by The Navigator Company



notícias

31.^a Conferência da Divisão de Física da Matéria Condensada da Sociedade Europeia de Física, Braga, setembro de 2024



A Divisão de Matéria Condensada da Sociedade Europeia de Física e a Sociedade Portuguesa de Física organizaram a 31.^a CMD-Conferência Geral da Divisão de Matéria Condensada da Sociedade Europeia de Física, realizada em Braga, Portugal, de 2 a 6 de setembro de 2024.

Esta conferência cobriu os tópicos científicos mais relevantes sobre Física da Matéria Condensada e Física dos Materiais, incluindo física da matéria mole e dos líquidos, biofísica, ciência dos materiais, materiais quânticos, física de baixas temperaturas, sistemas fortemente correlacionados, física dos semicondutores, magnetismo, supercondutividade, física de superfícies e interfaces, propriedades eletrônicas, óticas, estruturais e mecânicas dos materiais, acústica, meios desor-

denados, aplicações de materiais, entre outros.

O programa científico consistiu numa série de palestras plenárias e semiplenárias, minicolóquios e sessões especiais. Uma das sessões especiais foi dedicada à cerimónia de entrega do Prémio Europhysics 2024 ao Prof. Andrea Cavalleri, e outra à sessão Young Minds. Participaram cerca 1000 cientistas, mais de metade jovens investigadores e estudantes de doutoramento e mestrado.

Os organizadores da CMD31 agradecem calorosamente a todos os contribuidores, patrocinadores e pessoas locais que tornaram a CMD31 possível.

Novos Sócios Honorários da Sociedade Portuguesa de Física

Na sessão de encerramento da 24.^a Conferência Nacional de Física/34.º Encontro Ibérico para o Ensino da Física, realizada na Universidade de Coimbra, foi atribuído o título de Sócio Honorário aos sócios da Sociedade Portuguesa de Física Professora Maria Conceição Abreu e Professora Teresa Peña. A elas os nossos Parabéns.



Maria Conceição Abreu



Teresa Peña

Prémios de Incentivo da Excelência no Ensino da Física no 3.º ciclo e Ensino Secundário Com o apoio da Fundação “la Caixa” e do Banco BPI (BPI)

No passado dia 14 de setembro, na sessão de encerramento da 24.^a Conferência Nacional de Física/34.º Encontro Ibérico para o Ensino da Física, foram entregues os Prémios SPF/BPI de Incentivo da Excelência no Ensino da Física no 3.º ciclo e secundário, patrocinados pelo BPI/Fundação la Caixa.

Os premiados foram os seguintes:

Prémio André Freitas

Atribuído a Carlos Azevedo (Colégio Luso-Francês, Porto), a título de boas práticas pedagógicas.

Prémio Rómulo de Carvalho

Atribuído a Beatriz Cachim (Escola Secundária Domingues Rebelo, Ponta Delgada), a título de prémio de carreira.

Prémio Lídia Salgueiro

Atribuído a Albino Rafael Pinto (Agrupamento de Escolas da Lixa, Felgueiras) e Carlos Saraiva (Agrupamento de Escolas de Trancoso), prémio pelo melhor artigo publicado

na Gazeta de Física (A História da Indução Eletromagnética como Recurso Didático, Gazeta de Física, Vol. 44 (4), 2022, p 16), no biénio 2022-2023.

Aos premiados a SPF endereça as felicitações e agradece as valiosas contribuições para a melhoria do ensino da Física.



Cerimónia de entrega dos prémios



Carlos Azevedo (direita) na companhia de José António Paixão, Presidente da SPF (esquerda).



Beatriz Cachim (esquerda), na companhia de José António Paixão (direita), Presidente da SPF.



Albino Pinto (à direita) e Carlos Saraiva (ao centro), acompanhados pelo Presidente da SPF, José Paixão (à esquerda).

Prémios MEDEA, 15.^a edição, da Sociedade Portuguesa de Física e Redes Energéticas Nacionais

Com o apoio da REN, Redes Energéticas Nacionais SA, a SPF, Sociedade Portuguesa de Física, implementou, no ano letivo 2023/24 a 15.^a edição do projeto MEDEA junto dos alunos de várias escolas secundárias e profissionais do país desafiando-os a medir e a compreender o campo eletromagnético no meio ambiente.

O objetivo do projeto MEDEA é perceber e medir os campos eletromagnéticos de muito baixa frequência, 0 a 300 Hz, que são produzidos por qualquer equipamento ou circuito elétrico. Os alunos participantes, com o apoio dos respetivos professores, são encorajados a efetuar medições destes campos na escola, no seu ambiente do-



méstico e na vizinhança de linhas de transporte de energia elétrica; e após implementação de metodologia científica de análise e interpretação dos resultados obtidos, concluir, com a informação cientificamente credível, sobre os eventuais efeitos destes campos na saúde humana.

1.º Prémio - Equipa "Lords Quânticos" da Escola Básica e Secundária de Lordelo - Paredes.

Nome do Projeto: "CEM e Alta Tensão, estaremos nós em perigo?";
Alunos: Daniel Neto, Diogo Lamas, João Ribeiro, Nuno Gomes e Pedro Bessa; Professor: Rui Almeida.



A eles, os nossos parabéns.

O final do Projeto MEDEA|15 - O Eletromagnetismo em teu redor, ocorreu com a cerimónia de entrega dos prémios, realizada no passado dia 14 de setembro, na sessão de encerramento da 24.ª Conferência Nacional de Física/34.º Encontro Ibérico para o Ensino da Física, na Universidade de Coimbra. Os prémios atribuídos foram os seguintes:

Menção Honrosa - Equipa "Nekoma" da Escola Secundária sw Paços de Ferreira.

Nome do Projeto: "Mapeamento de Campos Magnéticos em Paços de Ferreira"; Alunos: Afonso Mata e Beatriz Santos.



As inscrições para a 16.ª edição do MEDEA encontram-se abertas. Para mais informações, consultar <https://medea.spf.pt/medea-16/>.



A 5.ª Conferência de Física dos Países de Língua Portuguesa (5CFPLP), decorreu de 8 a 10 de setembro de 2024 em Coimbra, uma das cidades mais antigas de Portugal, conhecida pelo seu importante papel na história e na educação do país.

Com o tema central "A Física para um desenvolvimento inclusivo e sustentável", contou com participantes de Angola, Brasil, Cabo Verde, Guiné-Bissau, Moçambique,

Portugal e São Tomé e Príncipe e constituiu mais um importante marco no fortalecimento da cooperação científica na área da Física, entre os países lusófonos.

A conferência, cuja comissão científica foi presidida pelo Professor Rogério Rosenfeld do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (Brasil), incluiu três palestras convidadas, três mesas redondas sobre assuntos de interesse comum para a comunidade científica, e mais de

duas dezenas de contribuições orais curtas e posters.

As três palestras convidadas abordaram temas de grande relevância na física contemporânea: Yasser Omar, do PQI – Portuguese Quantum Institute & Instituto Superior Técnico (IST) da Universidade de Lisboa (Portugal), discutiu "A Revolução das Tecnologias Quânticas"; Marta Fajardo, também do IST, apresentou "Impulsos de Luz de Duração Attosegundo - Geração e Aplicações"; e Márcia Rizzutto, do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (Brasil), falou da importância da Física na Arte com a palestra "Física e o Patrimônio Cultural".

As três mesas redondas, implementadas pela primeira vez nas conferências de Física da UFPLP, proporcionaram um espaço para a partilha de ideias e a promoção de colaborações científicas entre os participantes. A primeira foi dedicada às "Grandes Infraestruturas Multiusuário". Moderada por Rodrigo Capaz do Centro Nacional de Pesquisa em Energia e Materiais do Brasil, foi debatida por José António Paixão, Pedro Alberto, Sérgio Domingos (todos da Universidade de Coimbra, Portugal). No segundo dia, o debate centrou-se nas "Energias Alternativas". Teve como moderadores Rui Muchaiabande (Universidade Lúculo, Moçambique) e Maria da Conceição Abreu (LIP-Laboratório de Instrumentação e Partículas, Portugal) e contou com Arsénio Mindú (Diretor da Faculdade de Ciência Naturais e Matemática, Universidade Pedagógica de Maputo, Moçambique), Claudino Mendes (Professor da FCT da Universidade de Cabo Verde) para o debate. A terceira mesa-redonda foi dedicada à "Física das Alterações Climáticas". Foi moderada por Graça Silveira (Instituto Superior de Engenharia de Lisboa e Instituto Dom Luiz, Portugal), e debatida por Isabel Trigo (Instituto Português do Mar e Atmosfera e Instituto Dom Luiz, Portugal), Paulo Artaxo (Instituto de Física da Universidade de São Paulo, Brasil) e Rita Cardoso (Instituto Dom Luiz, Portugal).

Nas mais de duas dezenas de comunicações, foram abordados tópicos cruciais como Energias Renováveis, Física Médica, Geofísica, Astrofísica, Ensino da Física, promoção da igualdade de género na Física, entre outros. Queremos expressar o nosso agradecimento à Sociedade Portuguesa de Física (SPF) na pessoa do seu presidente, prof. José António Paixão, por ter alargado a participação dos professores da UFPLP à 34.º Encontro Ibérico para o Ensino da Física. Para além da partilha de conhecimento, possibilitou igualmente uma partilha de vivências entre os professores de Física dos países lusófonos.

Expressamos também o nosso reconhecimento ao professor Pedro Abreu coordenador da 16.ª edição da Escola de Professores em Língua Portuguesa no CERN, que estendeu o programa de formação dos professores dos PALOP (Angola (2), Moçambique (2), Cabo Verde (1), São Tomé e Príncipe (1), Guiné-Bissau (1)) à 5CFPLP, facto possível por, apesar de geograficamente acontecerem em locais diversos, se seguiram temporalmente.

A conferência teve como Promotores a Universidade de Coimbra e a União dos Físicos dos Países de Língua Portuguesa, patrocínios da SPF, SBF e EPS, e o Apoio Institucional da CPLP.

A 5.ª Conferência de Física dos Países de Língua Portuguesa veio assim reforçar o papel central que este encontro tem desempenhado na promoção do diálogo científico entre os países lusófonos. Ao, mais uma vez, impulsionar a cooperação entre os países da CPLP para o progresso da física, a conferência deu mais um passo na construção de uma comunidade científica cada vez mais unida e influente no panorama internacional. Nas palavras da presidente da UFPLP, professora Sónia Semedo, "Foi um momento para recarregar energia e criar uma nova dinâmica para a União dos Físicos".

A dedicação da Comissão Organizadora, presidida pela professora Helena Alberto da Universidade de Coimbra, foi igualmente decisiva neste recarregar de energia da União dos Físicos. Todos recordarão a belíssima vista durante os nossos almoços no Justiza e Paz, a visita à Universidade de Coimbra e o excelente jantar da Conferência.

Pela direção da UFPLP
Graça Silveira



Homenagem a Maria Ramos Valadares na Ilha Terceira

A Biblioteca Pública e Arquivo Regional Luís Silva Ribeiro (BPARLSR) de Angra do Heroísmo, a Universidade dos Açores, o Teatrinho e a Câmara Municipal de Angra do Heroísmo tomaram a iniciativa de homenagear Maria Ramos Valadares, artista e cientista angrense nascida naquela ilha há 120 anos.

A BPARLSR, com o mecenato dos Laboratórios Germano de Sousa, inaugurou a 22 de outubro uma exposição, A singularidade de Maria Ramos, sobre a vida de Maria Ramos Valadares. A exposição apresenta uma linha de vida, mostra peças raras como, quadros, esculturas e desenhos da artista, na sua maioria na posse de privados e algumas do Museu de Angra do Heroísmo e ainda documentos, alguns desconhecidos e pertença do Arquivo Regional, que foram expostos pela primeira vez ao público. O Catálogo sobre este evento é uma obra exímia que resume o espólio valioso que está patente aos visitantes, incluindo alunos em visitas escolares, entre outubro de 2024 e janeiro de 2025.



Figura 1 - Capa do Catálogo da Exposição A singularidade de Maria Ramos (foto da homenageada retirada da sua ficha de Liceu no ano letivo 1917/18, in arquivo da BPARLSR)

Este evento é devedor de um agradecimento ao diretor da Biblioteca, Dr. Avelino Santos e seus colaboradores, em particular, à Dr.^a Melânia Castro e ainda ao mecenas, Prof. Germano de Sousa que viabilizou o evento. E também, pelo apoio, aos primos da homenageada, de que destacamos a Dr.^a Leonor Reis e o seu filho Eng. Pedro Reis. Com o apoio do Programa EVENTOS DC&T/2024/033 do Governo Regional dos Açores, docentes da Faculdade de Ciências Agrárias e do Ambiente organizaram o Encontro Ciência e Arte: vida e obra da angrense Maria Ramos Valadares, a 8 de novembro de 2024, que decorreu na Biblioteca Pública.



Figura 2 - Alguns materiais da Exposição: linha de vida, esculturas e caricaturas no jornal "Vanguarda"

A realização do Encontro deveu-se a uma generosa colaboração de colegas da Universidade dos Açores, liderada pelas Prof.^{as} Rosalina Gabriel e Isabel Amorim e pelo sócio da SPF Prof. Miguel Tavarela Ferreira. A bem fundamentada candidatura ao programa de Eventos Científicos dos Açores, mereceu o seu financiamento pela Direção Regional da Ciência, Inovação e Desenvolvimento.

Neste Encontro foram apresentados trabalhos sobre a história da época e do local onde nasceu Maria Ramos, a vida e obra dela e de seu marido Manuel Valadares, o impacto que a genética tem hoje no conhecimento da origem das populações açorianas e sobre a longevidade científica da mosca da fruta, como modelo biológico na pesquisa em



genética, usado nos estudos de Maria Ramos, desde os anos 30 do século XX, em Portugal, até à sua aposentação do CNRS, em Paris, no final dos anos 60. O Encontro foi registado em video para memória futura.

HORÁRIO	PALESTRANTE	TEMA
14.00	Apresentação	
14.10-14.35	Francisco Maduro Dias	Os Açores no início do século XX
14.35-15.00	Jorge Sampaio	Manuel Valadares o cientista e o cidadão
15.00-15.10	Momento musical com <i>Felix the First</i>	- Freight Train - Rollin' & Tumblin'
15.10-15.35	Marta Manso	O Raio X na pintura ontem e hoje
15.35-16.00	Conceição Abreu e Paula Contenças	O contributo no restauro do quarteto do MNAA: João Couto, Manuel Valadares, Maria Ramos e Olívia Trigo de Sousa
16.00-16.30	Pausa para chá & café	
16.30-16.55	Alexandra Cabrita, Ana Isabel Simões e Clara Florensa	Maria Ramos, um percurso científico atribulado
16.55-17.20	Paula Contenças	O conhecimento da vida de Maria Ramos – um incentivo para os jovens
17.20-17.30	Momento musical com <i>Felix the First</i>	- Sitting on Top of the World - Black Jack Davey
17.30-17.55	Carla Rego	A importância dos estudos com <i>Drosophila</i> no avanço do conhecimento científico
17.55-18.20	Manuela Lima	Povoamento e história demográfica dos Açores: O contributo da genética
18.20-19.00	Discussão e Encerramento	
21.30	"Alpendre-Grupo de Teatro"	Noite cultural com a peça de teatro "Maria entre Ramos de arte e ciência" (*)

Figura 3 - Cartaz e Programa do Encontro Ciência e Arte: vida e obra da angressa Maria Ramos Valadares (do livro de resumos, com design de Vera Machado)



Figura 4 - Momento do Encontro Ciência e Arte.

O Encontro terminou com a reposição em sala, no Teatro Alpendre, da peça Maria entre Ramos de arte e ciência, do coletivo o Teatrinho, com argumento original e encenação de Valter Peres, produção de Pedro Santos e interpretação de Filomena Ferreira. Esta peça tinha sido vista nas tardes de 22, 23 e 24 de maio por alunos da Escola Secundária Jerónimo Emiliano de Andrade e nas noites de 24 e 25 de maio pelo público em geral.

A estas iniciativas juntou-se a da Câmara Municipal de Angra do Heroísmo com a edição em março de 2024 das mini biografias de terceirenses ilustres, onde Maria Ramos foi o tema da nº 9, com autoria de Victor Brasil.

No dia 8 de novembro, depois da peça de teatro, guionista/ encenador e atriz, organizadores e participantes do Encontro brindaram, regozijando-se pelas atividades realizadas, que muito bem têm divulgado a vida e obra de Maria Ramos.

P' Comissão Organizadora do Encontro
M^a Conceição Abreu
Paula Contenças



Figura 5 - Cartaz da Peça de Teatro Maria por entre Ramos de ciência e arte.



Figura 6 - Fascículo nº 9 de Ilustres Angrenses.



Figura 7- Um Final Feliz. Foto no hall do teatro Alpendre (da esquerda para a direita Miguel Tavarela, Filomena Ferreira, Valter Peres, Paula Contenças, Marta Manso, Conceição Abreu, Jorge Sampaio, Alexandra Cabrita e Rosalina Gabriel).

Os instrumentos do Instituto do Rádio da Universidade de Coimbra

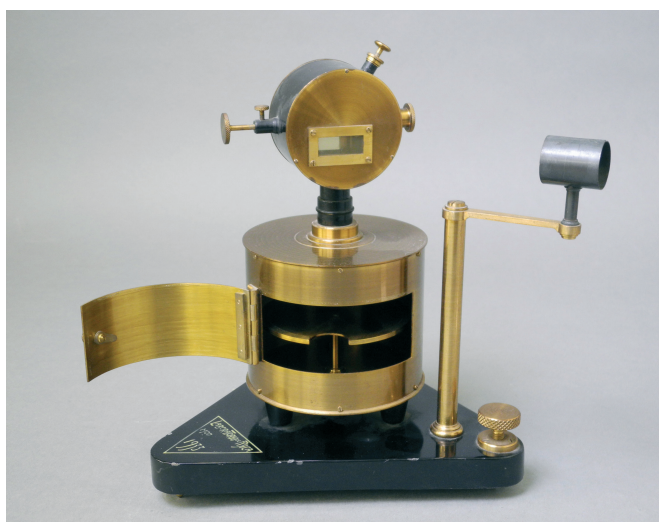
Inserida na Semana da Ciência e da Tecnologia, com organização do Rómulo - Centro de Ciência da Universidade de Coimbra e do Centro de Física da Universidade de Coimbra (CFisUC), foi inaugurada, no dia 11 de Novembro de 2024, uma exposição com instrumentos que pertenceram ao Instituto do Rádio da UC. Esta instituição teve um início promissor em 1926, com financiamento e alocação de espaços. Porém, a falta de orçamento permanente e a não homologação, por decreto-lei, deste instituto, ditaram o seu fracasso.

A história do Instituto do Rádio da Universidade de Coimbra começou em Paris, quando, em 1925, Mário Augusto da Silva (1901-1977) iniciou os seus estudos sobre radioactividade, sob orientação de Marie Skłodowska Curie (1867-1934). Aqui, no Instituto do Rádio de Paris, encontrou um laboratório onde era realizada investigação avançada e ensino, num grupo multicultural, liderado por uma mulher inspiradora, já galardoada com dois prémios Nobel. É esse o ambiente que Mário Silva sonhou transportar para a sua Lusa Atenas. O seu propósito era recriar em Coimbra a instituição francesa, com duas secções: uma dedicada à investigação em Física Nuclear, e outra, para as aplicações da radiação em Medicina. Cerca de 1937, Mário Silva já tinha a noção clara de que as portas dificilmente se abririam. Todavia, foi com a transferência da instrumentação para outros laboratórios (da Faculdade de Medicina) e a readaptação das salas para outros fins, que a extinção se tornou irrevogável (nos anos 40 e 50).

Nesta exposição encontram-se em exibição 16 aparelhos do Instituto do Rádio, utilizados para o estudo sobre radioactividade, pela Secção de Física. Na sua grande maioria foram construídos pela casa Charles Beaudouin (1875-1935), construtor que trabalhou em parceria com o casal Curie e com o Instituto do Rádio de Paris. Salientam-se dois instrumentos fabricados nas oficinas do próprio Laboratório de Física da UC.

Paralela a esta exposição decorreu uma palestra com o título “O Instituto do Rádio da Universidade de Coimbra: um projecto não concretizado”, apresentada por Gilberto Pereira, curador da exposição.

O catálogo digital pode ser acedido a partir da página WEB do Rómulo - Centro de Ciência da Universidade de Coimbra.



Electrómetro para medidas de radioactividade (FIS.1315). Este aparelho foi construído nas oficinas do Laboratório de Física (1933), por António Ferreira, preparador-conservador que trabalhou neste estabelecimento entre 1912 e 1949.

Olimpíadas de Física 2024

No ano de 2024, as atividades desenvolvidas pela Sociedade Portuguesa de Física no âmbito das Olimpíadas Regionais e Nacionais de Física 2024 e da preparação e participação de equipas de jovens estudantes do 11.º e 12.º anos na Olimpíada Europeia de Física 2024 são aqui descritas. As atividades relacionadas com as Olimpíadas de Física são promovidas, na Sociedade Portuguesa de Física (SPF), pela Comissão Nacional das Olimpíadas de Física constituída por:

- Rui Travasso, do Dep. de Física da FCTUC, Diretor das Olimpíadas de Física
- Presidente da Del. Regional do Norte da SPF, André Pereira
- Presidente da Del. Regional do Centro da SPF, Fernando Amaro
- Presidente da Del. Regional do Sul e Ilhas da SPF, José Manuel Marques
- Representante da Divisão de Educação da SPF, Maria Deolinda Campos
- Filipa Borges, do Dep. de Física da FCTUC
- José António Paixão, do Dep. de Física da FCTUC
- Orlando Oliveira, do Dep. de Física da FCTUC
- Rui Vilão, do Dep. de Física da FCTUC
- Telma Esperança, do Dep. de Física da FCTUC
- João Carlos Carvalho, do Dep. de Física da FCTUC
- Isabel Lopes, do Dep. de Física da FCTUC
- Paulo Gordo, do Dep. de Física da FCTUC
- Ricardo Gonçalves, do Dep. de Física da FCTUC




Olimpíadas Regionais de Física

A XL edição das Olimpíadas de Física, decorreu de forma presencial no dia 20 de abril de 2024 nas cidades de Coimbra, Covilhã, Évora, Faro, Funchal, Lisboa, Ponta Delgada, e Porto. Contou com uma componente teórica e uma componente experimental. O número de alunos foi semelhante ao ano passado, que tinha crescido bastante em relação a 2022, estando envolvidos nesta atividade 429 alunos do 9.º ano (escalão A), e 466 alunos do 11.º ano (escalão B). A prova foi elaborada pela Delegação Norte da SPF. A participação no escalão B foi feita a título individual, enquanto no escalão A os alunos concorrem em equipas com um máximo de três elementos. Em 2015 foi introduzida a etapa de escola na qual as escolas têm a possibilidade de escolher os seus representantes nas Olimpíadas Regionais de Física através de uma prova teórica fornecida pela SPF. Apesar de não se ter ainda conseguido quantificar o número de estudantes que realizam esta prova de escola, é certo que as Olimpíadas de Física chegaram a muitos mais alunos do que os que participam na fase regional.




As provas podem ser consultadas em <https://olimpiadas.spf.pt/regionais/regionais.shtml>.

Os vencedores da Olimpíada Regional seguem abaixo:

Escalão A



Vencedores do Escalão A - Norte Litoral		
Pedro Miguel Marques Figueiredo	Escola Básica dos 2.º e 3.º Ciclos Areosa	
Le Shi Chen		
Tiago Miguel da Silva Vieira		
João Luís Neves Martins	Escola Básica Engenheiro Fernando Pinto de Oliveira	
Dinis Rodrigues Moreira		
João Luís Gomes de Almeida		
Miguel Armindo Nunes	Colégio EFANOR	
Miguel de Almeida Sampaio Mendes		
João Ribeiro Soares		

Vencedores do Escalão A - Centro Litoral		
Afonso Dinis Tavares Inácio	Escola Secundária Dr. Mário Sacramento, Aveiro	
Leonardo Correia Pereira de Aguiar		
Tomás Marques Nordeste Filipe Rei		
Maria Leonor Ferreira Marques	Escola Secundária Emídio Navarro, Viseu	
Martinho Telles Ferreira Loureiro		
Miguel Casanova Fernandes		
Afonso Gabriel Lopes Almeida	Escola Secundária com 3.º Ciclo do Ensino Básico de Dr.ª Felismina Alcântara, Mangualde	
Inês Gomes Lomba		
Martim Silva Escada		



Vencedores do Escalão A - Centro Interior		
Beatriz da Silva Nunes	Escola Secundária Afonso de Albuquerque, Guarda	
Dinis Pires Teixeira		
Francisco Fortunato Marques		
Inês Cardoso Pereira	Escola Secundária Quinta das Palmeiras, Covilhã	
Margarida Isabel Gonçalves Falorca		
Maria Inês Teixeira		
Caetana de Jesus Fernandes Telo Palmeiro	Escola Básica, 2,3 N.º 1 de Elvas	
Rhayssa Alexandra Martins Bittar		
Stefania Cosmina Chitic		

Vencedores do Escalão A - Região Lisboa		
Maria Rita Nogueira Morais	Colégio Moderno	
Luís Filipe de Assis Ribeiro		
Eduardo Viveiros Piedade Maia Cadete		
Rafael Alexandre de Andrade Soares Marques	Agrupamento de Escolas Patrício Prazeres	
Leonor Almeida Azevedo		
Diogo Sousa Lavrador Marques de Aguiar		
Maria Clara Neutel Firmino	Escola Secundária com 3º Ciclo do Ensino Básico de Vendas Novas	
Diogo José Gaitas Cardante		
Gonçalo Teixeira Monteiro		




Vencedores do Escalão A - Região Açores		
João Graciliano Silva Cabral	Escola Secundária Vitorino Nemésio	
Inês Mendes Fagundes e Borges Bettencourt		
Guilherme de Vilar e Garcia		
Mariana se Sousa Brasil	Escola Básica e Secundária da Calheta	
Mafalda Patrícia Cunha Tavares		
Miriam Santos Fontes		
Caetana Pereira e Silva Malheiro	Escola Secundária Jerónimo Emiliano de Andrade	
Gabriel Alexandre Silva Sousa		
Maria Amaral Leonardo		

Vencedores do Escalão A - Região Madeira		
Anfisa Gorbacheva	Colégio Salesianos Funchal	
Rodrigo Viveiros Neves		
Santiago Alberto Nunes Lopez		
Ana Isabel da Silva Andrade	Escola Básica e Secundária Bispo D. M. F. Cabral	
Estevão Leal Nunes Vieira Rosa		
Henrique Ferreira Fazendeiro		
Ana Beatriz Lima da Silva	Escola Básica 2,3 do Caniço	
Maria Inês Barradas Camacho		
Martim de Góis Moura		




Escalão B




Vencedores do Escalão B - Norte Litoral		
Gustavo Rebelo de Sousa	Colégio de Nossa Senhora da Bonança	
Diogo Ribeiro Sousa	Escola Secundária Carlos Amarante, Braga	
João Miguel Ribeiro Braga	Escola Secundária Almeida Garrett, Vila Nova de Gaia	
Francisco Martins de Melo	Escola Básica e Secundária Clara de Resende, Porto	
Tomás Figueiredo Linhares	Colégio "La Salle"	
Eduardo Miguel Nogueira Campos	Escola Básica e Secundária de Rio Tinto, Gondomar	
Jesus Enrique Ferreira Aranguren	Escola Básica e Secundária de Pinheiro, Penafiel	
Gonçalo Esteves da Cunha	Colégio EFANOR	
Júlia Ribeiro Varejão	Escola Secundária Garcia de Orta, Porto	
João Francisco Costa de Oliveira	Escola Secundária com 3º Ciclo do Ensino Básico Trofa	

Vencedores do Escalão B - Centro Litoral		
Ricardo Filipe Coelho Prata	Escola Secundária Alves Martins, Viseu	
Tiago Filipe Neves Oliveira	Escola Básica e Secundária de Ourém	
Francisco Filipe Silva	Escola Secundária de Domingos Sequeira, Viseu	
Pedro Miguel Guerreiro Pereira Pinto	Escola Secundária Alves Martins, Viseu	
Alexandre Pinto Ferreira Pereira	Escola Secundária de Domingos Sequeira, Viseu	
António Daniel Ferreira Gonçalves	Escola Básica e Secundária de Ourém	
João Pedro Sá Neves	Escola Secundária Lima- de-Faria, Cantanhede	
Pedro Miguel Santos Silva	Escola Secundária Emídio Navarro, Viseu	
Mafalda Coelho Santos Barreiros	Escola Secundária Lima- de-Faria, Cantanhede	
Duarte Filipe da Silva Almeida	Escola Secundária de Vouzela	

Vencedores do Escalão B - Centro Interior		
Vicente Estrela Manuel	Escola Secundária Nuno Álvares, Castelo Branco	
Afonso de Araújo Carvalho	Escola Secundária Mouzinho da Silveira, Portalegre	
Joana Matilde Barbeiro Joaquim	Escola Secundária Nuno Álvares, Castelo Branco	




Vencedores do Escalão B - Região Lisboa		
Rodrigo Serrano Martins	Escola Básica e Secundária D. Fili a de Lencastre Lisboa	
Tomás Ferreira Faria	Colégio Moderno	
Leonor Pedroso Francisco	St. Peters's School	
Tiago Miguel Antunes Borrega	Escola Técnica e Liceal Salesiana de Stº António	
Afonso Miguel Martins	Colégio Salesiano Oficinas de S. José	
Ricardo Góis Faria	Escola Secundária Jorge Peixinho, Montijo	
Joana Alves Silva	Externato de Penafirme, Torres Vedras	
Laura Duarte Baptista	Instituto de Ciências Educativas	
Miguel Alexandre Pacheco Galrito Silva	Escola Secundária de Santo André, Barreiro	
Dinis Xavier Batista	Colégio Vasco da Gama	

Vencedores do Escalão B - Região Açores		
Afonso Enes Benevides	Escola Secundária Domingos Rebelo	
João André Loureiro Vieira	Escola Secundária Jerónimo Emiliano de Andrade	
Margarida Araújo Jorge dos Ramos Sousa	Escola Básica e Secundária das Velas	

Vencedores do Escalão B - Região Madeira		
Lourenço dos Santos Faria Relva	Escola Secundária Jaime Moniz	
Diogo Luís Gama Ferreira de Mendonça	Escola Básica e Secundária Bispo D. M. F. Cabral	
Inês Costa Franco Rodrigues	Escola da APEL	

Olimpíadas Nacionais de Física

A segunda e última etapa das XL Olimpíadas de Física, as Olimpíadas Nacionais de Física, decorreu a 18 de maio de 2024 na Escola Secundária Dr. Joaquim de Carvalho, na Figueira da Foz. Contou com uma componente teórica e uma componente experimental. Após o término das provas, os exames foram escanados e corrigidos centralmente. Participaram na etapa nacional os premiados da etapa regional, isto é, 36 alunos do escalão A e 39 alunos do escalão B. Os vencedores desta etapa foram:

Vencedores do Escalão A		
Afonso Dinis Tavares Inácio	Escola Secundária Dr. Mário Sacramento, Aveiro	
Leonardo Correia Pereira de Aguiar		
Tomás Marques Nordeste Filipe Rei		
Beatriz da Silva Nunes	Escola Secundária Afonso de Albuquerque, Guarda	
Dinis Pires Teixeira		
Francisco Fortunato Marques		
Maria Rita Nogueira Morais	Colégio Moderno	
Luís Filipe de Assis Ribeiro		
Eduardo Viveiros Piedade Maia Cadete		

Vencedores do Escalão B		
Tiago Filipe Neves Oliveira	Escola Básica e Secundária de Ourém	
Afonso Enes Benevides	Escola Secundária Domingos Rebelo	
Tomás Ferreira Faria	Colégio Moderno	
Afonso Miguel Martins	Colégio Salesiano Oficinas de S. José	
Diogo Ribeiro Sousa	Escola Secundária Carlos Amarante. Braga	
Gustavo Rebelo de Sousa	Colégio de Nossa Senhora da Bonança	
João Miguel Ribeiro Braga	Escola Secundária Almeida Garrett, Vila Nova de Gaia	
João Pedro Sá Neves	Escola Secundária Lima-de-Faria, Cantanhede	
Pedro Miguel Santos Silva	Escola Secundária Emídio Navarro, Viseu	
Ricardo Filipe Coelho Prata	Escola Secundária Alves Martins, Viseu	

As provas podem ser consultadas em <http://olimpiadas.spf.pt/nacionais/nacionais.shtml>

Os vencedores do escalão B da etapa nacional ficaram pré-selecionados para uma preparação a decorrer durante o próximo ano letivo que os poderá levar a representar Portugal em 2024 na LV Olimpíada Internacional de Física (Paris, France) ou na XXIX Olimpíada Ibero-Americana de Física, no México. Os seguintes alunos ficaram também pré-selecionados para esta preparação:

Alexandre Pinto Ferreira Pereira	Escola Secundária de Domingos Sequeira, Viseu
Francisco Filipe Silva	Escola Secundária de Domingos Sequeira, Viseu
Francisco Martins de Melo	Escola Básica e Secundária Clara de Resende, Porto
Joana Alves Silva	Escola Secundária Jorge Peixinho, Montijo
Joana Matilde Barbeiro Joaquim	Escola Secundária Nuno Álvares, Castelo Branco
João Francisco Costa de Oliveira	Escola Secundária com 3.º Ciclo do Ensino Básico Trofa
Laura Duarte Baptista	Instituto de Ciências Educativas
Lourenço dos Santos Faria Relva	Escola Secundária Jaime Moniz
Pedro Miguel Guerreiro Pereira Pinto Mazedo	Escola Secundária Alves Martins, Viseu
Rodrigo Serrano Martins	Escola Básica e Secundária D. Filipa de Lencastre, Lisboa
Tiago Miguel Antunes Borrega	Escola Técnica e Liceal Salesiana de Stº António

Olimpíadas Europeias de Física

A Sociedade Portuguesa de Física preparou os alunos para a participação na LIV Olimpíada Internacional de Física (IPhO) e a XXIX Olimpíada Ibero-americana de Física (OlbF). No entanto, não obtivemos da parte do Governo Português autorização para representar Portugal presencialmente no Irão na Olimpíada internacional de Física. Por outro lado, a OlbF foi cancelada devido a dificuldades financeiras por parte da comissão organizadora. Assim, Portugal participou na Olimpíada Europeia de Física. A preparação da equipa portuguesa foi realizada presencialmente por professores do Departamento de Física da Universidade de Coimbra. Ao longo do período de preparação foram sendo disponibilizados elementos de estudo, designadamente provas (e respetivas soluções) de Olimpíadas Internacionais de anos anteriores.

Seleção dos alunos para a EuPhO

As provas de seleção para a EuPhO decorreram no Departamento de Física da Universidade de Coimbra em 1 de junho de 2022 e consistiram na realização de provas teóricas e experimental complexas. Os alunos que participaram neste processo de seleção foram os da tabela no topo da coluna à direita.

Os alunos selecionados tiveram ainda várias sessões de preparação antes de cada evento.

Ivan Pinto	EuPhO
Pedro Filipe Silva	EuPhO
Filipe Sant'Ana	Cedeu lugar
Ines Costa	EuPhO
Simão Mendes	EuPhO
Raquel Vieira	EuPhO
Luís de Jesus	
Vítor Coelho	
Pedro Romão	
Rodrigo Roque	
Hugo Antunes	
Simone Pinto	
João Marques	
Gonçalo Martins	
Tiago Jesus	
Tomás Bernardo	
Rodrigo Moreira	
Dinis Pinto	

A XVIII Olimpíada Europeia de Física - EuPhO

As Olimpíadas Europeias de Física decorreram de 15 a 19 de julho de 2024, na Geórgia, tendo participado na competição estudantes do ensino secundário de 54 países. Nesta competição os estudantes sujeitam-se a duas provas (uma experimental e uma teórica) que decorrem em dois dias diferentes e têm uma duração de 5 horas cada. O vencedor absoluto foi Tudose Rares-Felix da Roménia, com uma pontuação de 43,0 pontos em 50. Os participantes portugueses foram acompanhados pelo leader João Carvalho. A prestação da equipa de Portugal resultou na obtenção de duas menções honrosas.

A lista dos estudantes portugueses é a seguinte:

Ivan Pinto	Menção Honrosa
Pedro Filipe Silva	Menção Honrosa
Ines Costa	EuPhO
Simão Mendes	EuPhO
Raquel Vieira	EuPhO

Olimpíadas de Física 2025

Datas importantes

Fase de Escola (facultativa): 14 de fevereiro de 2025

A prova será disponibilizada por e-mail no dia 13 de fevereiro a todos os professores que tiverem inscrito as suas escolas até 09 de fevereiro. A solução e os critérios de correção serão enviados no dia 17 de fevereiro até às 17:00, também por e-mail. Sugere-se que a prova tenha a duração de 90 minutos e seja individual em ambos os Escalões.

Fase Regional: 29 de março de 2025

Rrealizada presencialmente em Angra do Heroísmo, Coimbra, Covilhã, Funchal, Lisboa, Porto, e em mais locais se o número de escolas inscritas o justificar.

Calculadoras gráficas não serão permitidas nas Fases Regional e Nacional das Olimpíadas de Física

Inscrições das escolas até 09 de fevereiro de 2025
Inscrições das equipas até 09 de março de 2025

Fase Nacional: 31 de maio de 2025

Esta fase nacional das Olimpíadas apura para: Olimpíadas Internacionais 2026 (julho 2026, Colômbia) e Olimpíadas Ibero-americanas 2026 (em setembro 2026, Brasil)

Olimpíadas Internacionais 2025:

Paris, França, julho, 2025

Olimpíadas Ibero-americanas 2025:

Organizadas pelo México, setembro 2025

Para mais informações e inscrições, aceder a <https://olimpiadas.spf.pt/>.

Falecimento de Carlos Nabais Conde

Professor Catedrático Jubilado do
Departamento de Física da Faculdade de
Ciências e Tecnologia da Universidade de
Coimbra e sócio honorário da SPF



É com enorme pesar que a SPF tomou conhecimento do falecimento de Carlos Nabais Conde, Professor Catedrático Jubilado do Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra e sócio honorário da SPF. Licenciado em Ciências Físico-Químicas pela Universidade de Coimbra em 1957, iniciou as suas atividades de investigação em Coimbra, ainda como aluno, sob a orientação dos Professores Doutores João Rodrigues de Almeida Santos e José da Veiga Simão. Doutorou-se em Física Nuclear Experimental em 1965, na Universidade de Manchester. Depois da Agregação, em 1973, ocupou o lugar de Professor Extraordinário e a partir de 1980 o lugar de Professor Catedrático do Departamento de Física da Universidade de Coimbra até à sua jubilação, em janeiro de 2005. Era um especialista

em Instrumentação Atómica e Nuclear, sobretudo em Detetores Gasosos de Radiação e suas aplicações, com uma vasta obra nesta área, sendo o seu trabalho pioneiro no desenvolvimento do contador gasoso de cintilação proporcional, em colaboração com Armando Policarpo, um dos mais importantes. Foi responsável pela criação na Universidade de Coimbra do curso de Engenharia Física.

Falecimento de Maria Helena Carvalho Gomes Caldeira Martins



Natural de Coimbra, filha de Maria de Lourdes Machado Carvalho dos Santos Caldeira e de António Gomes Beato Caldeira concluiu na UC a licenciatura em Física em 28-1-1971. Tomou posse como Assistente eventual em 22-4-1971. Simultaneamente colaborou com o Centro de Estudos de Física Nuclear, dedicando-se a estudos em Física Teórica. Obteve o seu doutoramento pela Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra em 1982, com a tese “Hamiltoniano coletivo no método da coordenada geradora”, sob a supervisão de João da Providência Santarém e Costa. Helena Caldeira tornou-se assim a segunda pessoa a realizar um doutoramento em Física Teórica na Universidade de Coimbra, após José Rodrigues Martins, em 1945. Para além da carreira docente, com ênfase na didática e na formação de professores, foi autora de diversos manuais de ensino liceal. No Departamento de Física da Universidade de Coimbra foi membro da Comissão Diretiva do Departamento (1984-1986), do Conselho de Departamento e da Comissão Executiva (de Outubro de 1994 a Janeiro de 1997). Aquando da sua reforma, ocupava o cargo de Professora Associada. Além disso salientou-se como Diretora do Museu de Física da Universidade de Coimbra, cargo que ocupou entre 29-5-2002 e 2010. Para além da grande preocupação na preservação deste núcleo museológico, desenvolveu inúmeras atividades educativas e exposições temporárias. Foi a última Diretora no ativo deste Museu, antes da sua integração no Museu da Ciência da Universidade de Coimbra. Juntamente com Victor Gil (1939-2018), foram os criadores do projeto educativo Exploratório, Centro de Ciência Viva de Coimbra.

FÍSICA 2024 – 24ª Conferência Nacional de Física e 34º Encontro Ibérico para o Ensino da Física

A 24ª Conferência Nacional de Física e o 34º Encontro Ibérico para o Ensino da Física ocorreram nos passados dias 11 a 14 de setembro de 2024 na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Esta conferência bienal, organizada pela Sociedade Portuguesa de Física, reuniu uma grande comunidade nacional de físicos, tendo tido mais de 200 participantes de todas as regiões de Portugal abrangendo docentes do Ensino Básico, Investigadores e Professores Universitários, alunos de doutoramento e alunos de mestrado, numa partilha do estado atual do conhecimento em Física nas suas diversas vertentes. O 34º Encontro Ibérico para o Ensino da Física foi organizado em colaboração com a Real Sociedad Española de Física.

O evento iniciou-se na tarde de 11 de setembro com um conjunto de 8 oficinas (opcionais) abordando os mais variados assuntos relevantes para o ensino da Física, como por exemplo a programação/utilização de sensores, o uso de softwares, os métodos de medição ou as novas metodologias de ensino.

No segundo dia iniciou-se o ciclo de palestras onde durante os 3 dias seguintes ocorreram 9 apresentações plenárias que abordaram tópicos modernos de Física, nomeadamente dedicadas aos temas dos lasers ultra-rápidos, computação Quântica, inteligência artificial em Física e os 50 anos da SPF.



Nos dias 12 e 13 de setembro da parte da tarde, ocorreram simultaneamente sessões paralelas, onde investigadores e professores tiveram a oportunidade de mostrar o seu trabalho científico/educacional, nas diferentes áreas de investigação que Física (Física da Matéria Condensada, Física dos Plasmas, Ensino da Física, Física Atómi-



ca e Nuclear, Física Médica, Ótica e Lasers, Física das Partículas, Cosmologia, Física Aplicada, Física Biológica e Geofísica). No total foram apresentadas 61 comunicações orais.

Durante o período de descanso para café, foram ainda apresentadas 43 comunicações em formato poster nas diferentes áreas acima referidas.

No dia 14 de setembro foi feita uma cerimónia alusiva aos 50 anos da Sociedade Portuguesa de Física e foram entregues os Prémios SPF/BPI de Incentivo da Excelência no Ensino da Física no 3º ciclo e secundário, patrocinados pelo BPI/Fundação la Caixa. Nomeadamente foi entregue o prémio André Freitas ao professor Carlos Azevedo pelas boas práticas pedagógicas. O prémio Lídia Salgueiro foi para Albino Rafael Pinto e Carlos Saraiva que é atribuído ao melhor artigo publicado pela Gazeta de Física no biénio que antecede à conferência nacional de Física. Finalmente o prémio carreira, Prémio Rómulo de Carvalho, foi entregue à professora Beatriz Cachim. Foram também entregues os prémios Medea aos alunos da Escola Básica e Secundária de Lordelo, Paredes, e uma menção honrosa aos alunos da Escola Secundária de Paços de Ferreira.



Foi um encontro onde durante 4 dias apresentou-se/debateu-se diversificados tópicos da Física desta forma permitindo identificar o estado da Física atual no nosso país assim como a nível ibérico na área do Ensino da Física. Para além da componente científica foi um encontro onde existiram diversos momentos sociais e de convívio entre os intervenientes da Física2024 promovendo troca de visões e conhecimentos. Um agradecimento especial a todos os participantes, comissões Científicas, patrocinadores e a todos os intervenientes na Física2024.



Cerimónia de abertura do Ano Internacional da Ciência e Tecnologia Quânticas 4 e 5 de fevereiro de 2025



No dia 7 de junho de 2024, as Nações Unidas proclamaram 2025 como o Ano Internacional da Ciência e Tecnologia Quânticas (IYQ). De acordo com a proclamação da ONU, o IYQ será levado à prática por meio de atividades a vários níveis, com o objetivo de "aumentar a conscientização pública sobre a importância da ciência quântica e das suas aplicações". O ano de 2025 foi escolhido como o Ano Internacional em reconhecimento dos 100 anos desde o início do desenvolvimento da mecânica quântica.

Como agência líder na implementação do Ano Internacional da Ciência e Tecnologia Quânticas, a UNESCO, juntamente com seus parceiros, está a organizar a cerimónia de abertura, uma exposição comemorativa e a preparar as atividades para o ano. Com estes eventos, a ONU pretende destacar a relevância da ciência quântica, pretende promover a cooperação internacional e interdisciplinar nestas áreas e pretende aprofundar e levar à prática os seus resultados. As atividades para celebrar este marco na ciência e tecnologia serão focadas nas suas aplicações para o desenvolvimento sustentável, com palestras, painéis de discussão interativos, apresentações científicas e culturais, e outras.

A Cerimónia de Abertura do Ano Internacional da Ciência e Tecnologia Quânticas será realizada nos dias 4 e 5 de fevereiro de 2025, na Sede da UNESCO em Paris, França. Este evento marcará o início oficial do Ano. A cerimónia será uma plataforma para troca de ideias, permitindo que os participantes apresentem as melhores práticas na educação, investigação e aplicações industriais da mecânica quântica. Ela também procura inspirar a cooperação interdisciplinar e inter-regional, promovendo a inovação para todos.

Em paralelo à cerimónia de abertura do Ano Internacional da Ciência e Tecnologia Quânticas será realizada uma exposição. Nela, os visitantes poderão explorar os avanços científicos, as aplicações mais importantes que foram sendo desenvolvidas e as possibilidades futuras da mecânica quântica. Esta exposição será interativa, tendo sido projetada para envolver o público e inspirar uma apreciação mais profunda destes temas. A exposição irá decorrer de 3 a 7 de fevereiro de 2025, e estará aberta ao público durante todo o dia para os participantes visitarem.

Mais informações em: <https://indico.un.org/event/1015312/overview> ou <https://quantum2025.org/>

TABELA PUBLICIDADE GAZETA DE FÍSICA



1 - Verso Capa



2 - Contracapa



3 - Página



4 - 1/2 Página



5 - 1/4 Página



6 - Destacável/folha



7 - Rodapé

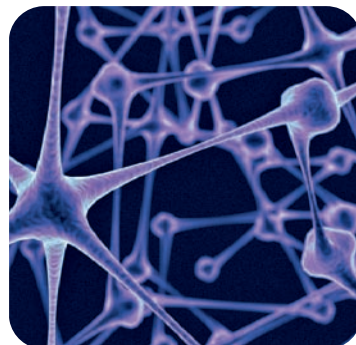
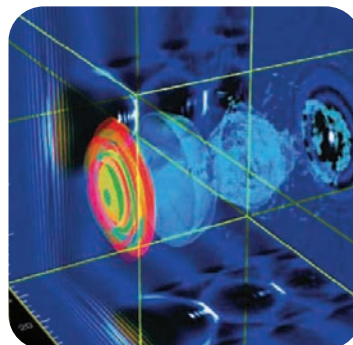
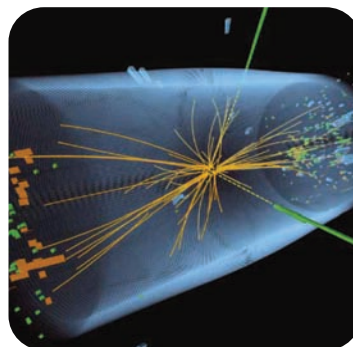
Tabela (acresce IVA)

1 - 1.500,00 €
2 - 2.000,00 €
3 - 800,00 €
4 - 600,00 €
5 - 400,00 €
6 - 1.500,00 €
7 - 100,00 €

Descontos
Sócios coletivos - 20%
Quantidade
2 x 20% | 3 x 30% | 4 x 40%
Tiragem: 3000 exemplares
Consulta online 15000 (C/CPLP)
Facebook ~40000 (C/CPLP)



Para os físicos e amigos da física.
WWW.GAZETADEFISICA.SPF.PT



CONTACTOS:

Sociedade Portuguesa de Física
Av. da República, 45 - 3º Esq. | 1050-187 Lisboa
Telef.: 217 993 665 | spf@spf.pt

EXpT exclusive distributor of PHYWE in Portugal presents some of the Nobel Prize experiments

X - ray



XR 4.0 expert unit, 35 kV

Item no.: 09057-99

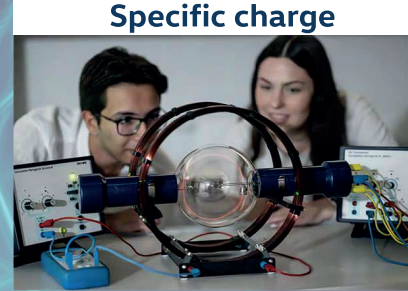
The PHYWE X-ray unit offers you a precise and safe demonstration of the penetration of matter by X-rays, a ground-breaking concept that Röntgen discovered in 1895 and for which he was awarded the Nobel Prize in 1901.

Learning objectives:

- Structural analysis
- Characteristic radiation
- Bragg reflection
- Radiology
- Dosimetry
- Computed tomography



Specific charge



Specific charge of the electron - e/m

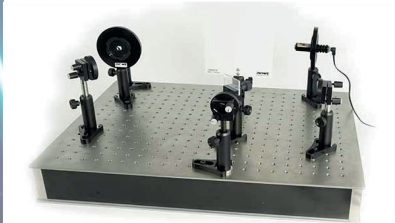
Item no.: P2510200

With the PHYWE e/m experimental setup, you can experimentally determine the specific electron charge based on Thomson's discovery in 1897, which brought him the Nobel Prize in 1906.

Learning objectives:

- Cathode rays
- Lorentz force
- Electron in crossed fields
- Electron mass
- Electron charge

Michelson interferometer



Michelson interferometer - High Resolution

P2220911

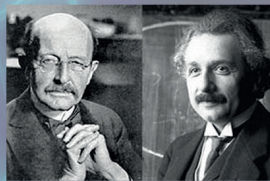
The Michelson interferometer, an innovation from the 1880s, enables high-precision measurements of the smallest changes in path length.

Applications include, for example, the Michelson-Morley experiment and gravitational wave detection.

Michelson was honoured with the Nobel Prize for this in 1907.

Learning objectives:

- Interference
- Wavelength
- Diffraction index
- Speed of light
- Phase
- Virtual light source



Planck's quantum of action



Planck's "quantum of action" and photoelectric effect

Item no.: P2510402

The PHYWE experimental set-up for Planck's radiation formula enables the demonstration of Planck's quantum theory, which was introduced in 1900 and for which he was awarded the Nobel Prize in 1918.

Albert Einstein received the Nobel Prize in 1921 for his explanation of the photoelectric effect, which is closely linked to Planck's quantum hypothesis.

Learning objectives:

- External photoelectric effect
- Work function
- Absorption
- Photon energy
- Anode / Cathode