

GAZETA DE
física

Para os físicos e amigos da física.

WWW.GAZETADEFISICA.SPF.PT

SOCIEDADE PORTUGUESA DE FÍSICA / VOL. 44- N.º 4 / 2021 / Publicação Trimestral / €5,00

Sistemas Complexos - o Nobel da Física de 2021

Projeto Aprender + FQ, Quizzes

A história da indução magnética como recurso didático

Índice

1 Editorial

artigo geral

2 Prémio Nobel para Sistemas Complexos

Iveta Pimentel

sala de professores

8 Aprender + FQ (Físico-Química) com motivação – Quizzes

Um estudo com alunos do 9.º ano

Attila Gören, Ana Cristina R. Silva, Carlos M. Costa, Senentxu Lanceros-Méndez

sala de professores

16 A História da Indução Eletromagnética como Recurso Didático

Albino Rafael Pinto, Carlos Saraiva

crónicas

19 Giorgio Parisi e três (bons) conselhos

Carlos Herdeiro

livros e multimédia

21 «Ciência, Tecnologia e Medicina na Construção de Portugal»

José Braga

«Relatividade restrita»

Paulo Crawford

vamos experimentar

24 O que são materiais “frustrados”?

Constança Providência

27 Notícias

- Física 2021 - Prémio a Manuel Fiolhais e Rogério Nogueira
- Homenagem a João da Providência
- Homenagem a Margarida Ramalho
- Homenagem à Professora Helena Andrade e Silva
- Mini Escola do LIP
- Apresentação Núcleo de Magnetismo
- 4.ª Conferência de Física Países de Língua Portuguesa
- EPS FORUM 2022

CRÉDITOS

Imagem da capa: Giorgio Parisi. Foto de Lorenza Parisi, via Wikipedia

Surge este número da Gazeta num tempo em que paira sobre a Humanidade um sentimento de incerteza, sensação estranha para a maior parte de nós, habituados como estamos às quase certezas que cada dia seguinte sempre nos traz. Se a pandemia, embora de modo difuso, parece finalmente querer deixar-nos, as nuvens negras que alastram no leste europeu fazem lembrar outros tempos de que já não queríamos ter memória. A ciência, como deve ser vista, também não escapa a esta turbulência – por definição um problema físico da maior complexidade. Na sua crónica, aproveitando o extraordinário exemplo do recentemente galardoado com o Nobel da Física Giorgio Parisi, Carlos Herdeiro coloca-nos, em poucas linhas, perante alguns dos maiores desafios e ameaças que a ciência enfrenta na atualidade. Os negacionismos e a “ciência de opinião” têm hoje uma preocupante legião de seguidores, escondidos numa arrogante ignorância que urge desmistificar. Se a pandemia mostrou, mais do que os nossos medos, a nossa imensa fragilidade, que o pós-pandemia possa mostrar a força da ciência como elemento central e estruturante de qualquer sociedade que ouse classificar-se como desenvolvida.

Giorgio Parisi é também o personagem central de um dos artigos de fundo desta edição. Na sequência da atribuição do Prémio Nobel da Física aos “Sistemas Complexos”, Iveta Pimentel apresenta-nos os “vidros de spin”, mostrando-nos como esse trabalho central de Giorgio Parisi é determinante no estudo e compreensão desse e de outros sistemas complexos. Parisi ganhou o Prémio Nobel da Física de 2021 juntamente com Syukuro Manabe e Klaus Hasselmann, cujo trabalho será objeto de análise em próxima edição da Gazeta.

Mas o tempo de pandemia foi também um tempo de desafio, de reflexão e de introspeção. As escolas tiveram de se reinventar para conseguirem chegar aos

seus alunos, também eles demasiado tempo perdidos atrás de um monitor e de múltiplas tentações. Attila Gören apresenta-nos, neste número, o projeto Aprender+ FQ, em que a competição saudável associada ao jogo se torna instrumental para uma abordagem motivadora no ensino e aprendizagem da ciência no 9.º ano de escolaridade, quer estejamos presencialmente numa sala de aula ou remotamente noutro lugar.

Ainda na nossa “Sala de professores”, o artigo de Albino Pinto e Carlos Saraiva revisita a história da indução eletromagnética através de um conjunto de experiências fundamentais levadas para as salas de aulas numa junção estruturante de história e conhecimento.

E, em tempo de muitas frustrações, Constança Providência mostra-nos que há materiais que, apesar de “frustrados” são afinal bem interessantes, e andam de mão dada com o Prémio Nobel já referido.

Neste número, a Gazeta presta uma breve homenagem a vários nomes maiores da física em Portugal, que nos deixaram durante o último ano. Um ínfimo tributo aqueles que foram, passo a passo, construindo um caminho que encontraram por fazer, e que contribuíram decisivamente para que a física tenha, em algumas décadas, adquirido a relevância que atualmente tem na ciência que se faz em Portugal.

Por último, uma breve referência à nossa secção de “Livros e multimédia”. Numa semana em que ficamos a saber que a esmagadora maioria dos portugueses não leu um único livro durante o último ano, é da mais elementar justiça agradecer a todos aqueles que continuam a escrever sobre ciência, lutando contra ventos e marés.

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

Filipe Moura
Francisco Macedo
Nuno Peres
Olivier Pellegrino

Secretariado

Maria José Couceiro - mjose@spf.pt

Comissão Editorial

Conceição Abreu - 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
Carlos Portela - 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

Fid'algo - Print Graphic Design Lda.
Rua da Nau Catrineta, nº 14, 2º Dto. | 1990-186 Lisboa

NIPC 501094628

ISSN 0396-3561

Tiragem 1 000 Ex.

Registo ERC 110856

Depósito Legal 51419/91

Publicação Trimestral

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.

Prémio Nobel para Sistemas Complexos

Iveta Pimentel¹

¹ Departamento de Física e Centro de Física Teórica e Computacional, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

irpimentel@fc.ul.pt

Resumo

O prémio Nobel da Física 2021, foi atribuído a Giorgio Parisi (1/2) “for the discovery of the interplay of disorder and fluctuations in physical systems from atomic to planetary scales” [1]. O prémio distingue o trabalho de Parisi sobre vidros de spin que são sistemas complexos. Parisi desenvolveu um novo método para descrever sistemas complexos, o qual teve um enorme impacto em física, e outras áreas, muito diversas. Neste artigo, apresentarei o estudo de vidros de spin e mencionarei alguns exemplos da sua influência em diferentes áreas.



Figura 1 - Os laureados com o Prémio Nobel da Física 2021. (© Nobel Prize Outreach).

O que são vidros de spin?

Experiências, realizadas no início dos anos 1970, revelaram a existência de um novo tipo de ordem magnética, intrigante e fascinante, em materiais que foram então designados por vidros de spin [2-4]. Vidros de spin são sistemas magnéticos desordenados, que exibem uma transição de congelamento (*freezing*), a uma temperatura T_f , para uma fase a mais baixa temperatura, onde os momentos magnéticos, ou spins, dos átomos constituintes do sistema, têm orientações fixas mas aleatórias. Encontram-se vidros de spin em diferentes tipos de materiais. Os vidros de spin mais conhecidos são ligas metálicas, como CuFe, que consiste numa rede cristalina de átomos de Cu com uma pequena percentagem de átomos de Fe, que têm spin, colocados em posições aleatórias, ver Figura 2.

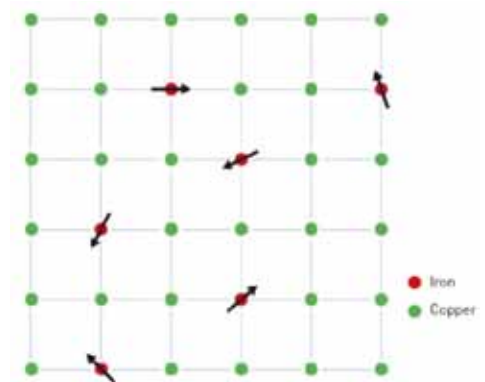


Figura 2 - Vidro de spin: liga metálica CuFe, os átomos de Fe têm spin. (© Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences).

A ordem magnética, não trivial, resulta da existência de interações aleatórias, ferromagnéticas e antiferromagnéticas, entre os spins. Uma interação ferromagnética tende a alinhar os spins paralelos enquanto uma interação antiferromagnética tende a alinhar os spins antiparalelos. A competição entre as interações gera frustração na orientação dos spins, isto é, os spins recebem instruções para alinhar em sentidos contrários e consequentemente não têm uma orientação única, ver Figura 3. Desordem e frustração são duas características fundamentais dos vidros de spin.

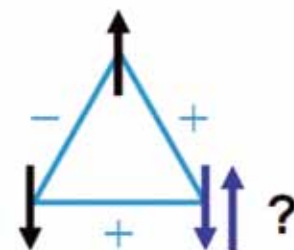


Figura 3 - Frustração: não existe uma orientação única dos spins devido a interações competitivas.

A caracterização da ordem magnética em vidros de spin é difícil. Dado os spins terem orientações fixas mas aleatórias, a magnetização local, média térmica do spin em cada sítio, é não nula, mas a magnetização global, soma da magnetização local nos vários sítios, é nula. A transição de congelação (*freezing*) dos spins é observada na medição da suscetibilidade magnética, a resposta da magnetização a um campo magnético aplicado, em função da temperatura, onde é assinalada por um pico à temperatura T_f . A suscetibilidade magnética medida quando se arrefece o sistema num campo magnético tem um valor mais elevado do que o obtido quando se arrefece o sistema em campo nulo e depois se aplica o campo. A magnetização induzida por um campo magnético, após tirar o campo, decai com tempos de relaxação muito longos. Estas observações mostram um comportamento exótico, o qual indica que os vidros de spin têm uma estrutura interna complexa.

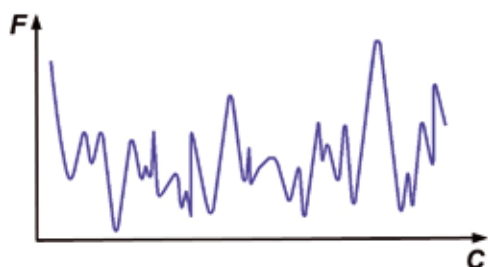


Figura 4 - Representação esquemática da energia livre de um vidro de spin em função dos estados de configuração dos spins.

Num vidro de spin, a frustração na orientação dos spins determina a existência de uma grande multiplicidade de estados de equilíbrio, com diferentes configurações dos spins, separados por barreiras de energia. Porque não existe uma configuração dos spins que satisfaz simultaneamente todas as interações, não existe um estado fundamental único. A energia livre de um vidro de spin em função dos estados de configuração dos spins, apresenta muitos mínimos, isto é, uma paisagem com muitos vales, como ilustrado na Figura 4. A existência de uma grande multiplicidade de estados de equilíbrio, constitui uma característica fundamental dos sistemas complexos. Giorgio Parisi proferiu a sua palestra do Prémio Nobel da Física 2021 com o título “Multiple equilibria” [1].

Modelo de Edwards-Anderson

Em 1975, Edwards e Anderson [5] propuseram um modelo para os vidros de spin, que é descrito pelo hamiltoniano

$$H = - \sum_{(i,j)} J_{ij} \vec{S}_i \cdot \vec{S}_j \quad (1)$$

onde N spins \vec{S}_i estão colocados nos sítios i de uma rede regular tridimensional, com interações J_{ij} apenas entre spins primeiros vizinhos, as quais são variáveis aleatórias independentes, positivas e negativas com igual probabilidade, tendo considerado uma distribuição gaussiana de valor médio zero e variância J^2 .

Propuseram também um parâmetro de ordem para os vidros de spin, definido como

$$q_{EA} = \frac{1}{N} \sum_i \langle \vec{S}_i \rangle^2 \quad (2)$$

($\langle \dots \rangle$ representa a média térmica num estado e $[\dots]$ representa a média sobre a desordem nas interações), o qual mede o valor médio do quadrado da magnetização local, tendo-se $q_{EA}=0$ para $T \geq T_f$ e $q_{EA} \neq 0$ para $T < T_f$.

A desordem na interação entre os spins é *quenched*, isto é, independente do tempo. As propriedades físicas do sistema são então calculadas a partir da média da energia livre sobre a desordem nas interações

$$[F] = - \frac{1}{\beta} [\ln Z] \quad (3)$$

$\beta = 1/(k_B T)$ e a função de partição é dada por

$$Z = \text{Tr}_{\{S\}} \exp(-\beta H(J, S)) \quad (4)$$

onde $\text{Tr}_{\{S\}}$ representa a soma sobre todas as configurações dos spins. O cálculo da média de $\ln Z$ é difícil. Edwards e Anderson propuseram então o método das réplicas, o qual se baseia na igualdade

$$\ln Z = \lim_{n \rightarrow 0} \frac{Z^n - 1}{n} \quad (5)$$

A média da energia livre é agora calculada em termos da média da função de partição de n réplicas do sistema original Z^n , com n inteiro, que é fácil calcular. Obtém-se $[Z^n]$ que é a função de partição de um sistema descrito por um hamiltoniano efetivo $H_{\text{eff}}(S^\alpha)$ no espaço das réplicas, $S^\alpha = S_i^\alpha$ representa os spins na réplica α , ($\alpha = 1, \dots, n$), existindo simetria de permutação das réplicas. O cálculo das propriedades é efetuado utilizando o hamiltoniano efetivo, $H_{\text{eff}}(S^\alpha)$, tomando o limite $n \rightarrow 0$ no fim.

Na teoria desenvolvida a seguir por Edwards e Anderson, foi obtida uma solução aproximada para o modelo, a qual explica uma parte, mas não explica outra parte, das propriedades observadas nos vidros de spin.

Modelo de Sherrington-Kirkpatrick

Ainda em 1975, Sherrington e Kirkpatrick [6] propuseram um modelo para os vidros de spin, que é descrito pelo hamiltoniano

$$H = - \sum_{(i,j)} J_{ij} S_i S_j - h \sum_i S_i \quad (6)$$

onde se considera N spins de Ising, $S_i = \pm 1$, com interações J_{ij} de alcance infinito (todos os spins interagem entre si), as quais são variáveis aleatórias independentes, com uma distribuição gaussiana de valor médio zero e variância J^2/N , na presença de um campo magnético uniforme h . Este modelo é uma versão do modelo de Edwards-Anderson, menos realista devido ao alcance infinito da interação, mas tem a vantagem de se obter a sua solução exata. A solução do modelo de Sherrington-Kirkpatrick constitui uma teoria de campo médio para os vidros de spin.

Utilizando o método das réplicas e efetuando uma transformação para tratar a interação entre os spins das réplicas no hamiltoniano efetivo, $H_{\text{eff}}(S^\alpha)$, obtém-se a expressão para a energia livre do sistema, no limite $N \rightarrow \infty$,

$$[F] = \lim_{n \rightarrow 0} \min F(q^{\alpha\beta})/n \quad (7)$$

sendo a energia livre dada pelo valor mínimo de uma função $F(q^{\alpha\beta})$, onde $q^{\alpha\beta}$ são os elementos de uma matriz de dimensão $n \times n$, simétrica e com zeros na diagonal, $q^{\alpha\beta} = q^{\beta\alpha}$ e $q^{\alpha\alpha} = 0$. O parâmetro de ordem dos vidros de spin é dado pelos valores de $q^{\alpha\beta}$ que minimizam a função $F(q^{\alpha\beta})$, os quais têm a expressão

$$q^{\alpha\beta} = \langle S_i^\alpha S_i^\beta \rangle \quad (8)$$

onde a média térmica é calculada no espaço das réplicas, sendo igual para todos os sítios i . Tem-se então que o parâmetro de ordem dos vidros de spin $q^{\alpha\beta}$ representa o *overlap* dos spins nas réplicas α e β , medindo o grau de semelhança das réplicas. A forma do parâmetro de ordem é determinada pela dependência de $q^{\alpha\beta}$ nas réplicas α e β .

Sherrington e Kirkpatrick consideraram o *ansatz* de simetria das réplicas, no qual $q^{\alpha\beta}$ é igual para todas as réplicas,

$$q^{\alpha\beta} = q. \quad (9)$$

Na ausência de campo magnético, $h=0$, verifica-se a ocorrência de uma transição de fase, à temperatura $T_f = J$: $q=0$ para $T \geq T_f$ e $q \neq 0$ para $T < T_f$, com $q \propto (T_f - T)/T_f$ na proximidade de T_f . Na presença de campo magnético, $h \neq 0$, q tem um valor finito e não existe transição de fase. Surgiu, porém, um problema no modelo de Sherrington-Kirkpatrick: a entropia calculada apresenta um valor negativo à temperatura $T=0$, um resultado não físico.

Em 1978, Almeida e Thouless [7] analisaram a estabilidade da solução do modelo de Sherrington-Kirkpatrick. Verificaram que na ausência de campo magnético, $h=0$, a solução com simetria das réplicas é instável na fase de baixa temperatura, $T < T_f$, não correspondendo a um mínimo da função $F(q^{\alpha\beta})$. Na presença de um campo magnético, $h \neq 0$, observaram a ocorrência de uma transição de fase, ao longo de uma linha, $T_f(h)$, abaixo da qual a solução com simetria das réplicas é também instável. Colocou-se então a hipótese de na fase dos vidros de spin a baixa temperatura haver quebra de simetria das réplicas.

Ansatz de Parisi: quebra de simetria das réplicas

Em 1979, Giorgio Parisi [8-10] propôs um *ansatz* para a quebra de simetria das réplicas no parâmetro de ordem dos vidros de spin no modelo de Sherrington-Kirkpatrick. O *ansatz* de Parisi pode ser descrito de uma forma iterativa, como mostra a Figura 5. Como dito, $q^{\alpha\beta}$ são os elementos de uma matriz $n \times n$, simétrica e com zeros na diagonal. Começa-se com simetria das réplicas, tendo todos os elementos fora da diagonal o mesmo valor, q_0 . No passo 1, divide-se a matriz $n \times n$ em blocos de tamanho $m_0 \times m_0$ e nos blocos sobre a diagonal substitui-se q_0 por q_1 , deixando q_0 nos blocos fora da diagonal. No passo 2, cada bloco $m_1 \times m_1$ sobre a diagonal é subdividido em sub-blocos de tamanho $m_2 \times m_2$ e nos sub-blocos sobre a diago-

nal q_1 é substituído por q_2 . Este processo é repetido e após R passos de quebra de simetria das réplicas tem-se um conjunto de valores m_r e $q^{\alpha\beta} = q_r$,

$$n = m_0 > m_1 > m_2 > \dots > m_R > 1 \quad (10)$$

$$q_0 < q_1 < q_2 < \dots < q_R. \quad (11)$$

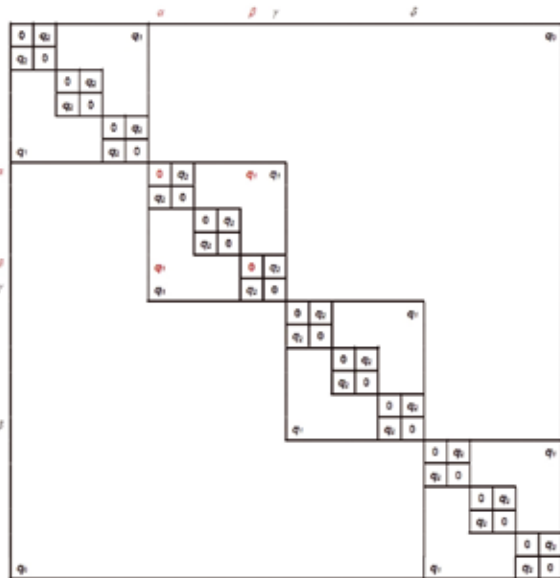


Figura 5 - Representação do Ansatz de Parisi, em forma de matriz, para $R=2$ passos de quebra da simetria das réplicas.

O *ansatz* de Parisi pode igualmente ser descrito em termos de uma árvore, como mostra a Fig. 6. As extremidades da árvore são as réplicas, $\alpha=1,2,\dots,n$, e a árvore ramifica-se nos vários níveis, $r=0,1,\dots,R$, com multiplicidade $n_r = m_r/m_{r+1}$, sendo o valor de $q^{\alpha\beta} = q_r$ determinado pelo nível r do antepassado comum mais próximo das réplicas α e β .

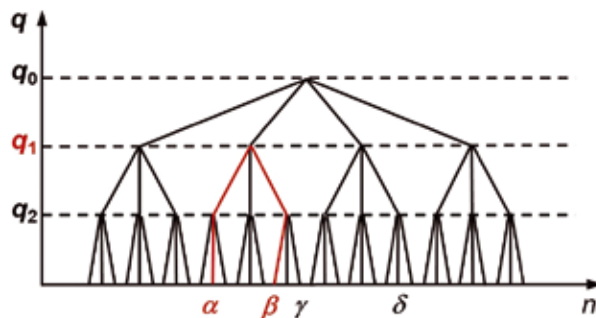


Figura 6 - Representação do Ansatz de Parisi, em forma de árvore, para $R=2$ passos de quebra da simetria das réplicas.

Observa-se então que existe uma estrutura hierárquica entre as réplicas. Verifica-se também que o espaço das réplicas tem ultrametricidade, isto é, se tomarmos três réplicas quaisquer e calcularmos os *overlaps* entre elas, pelo menos dois deles são iguais e o terceiro é maior ou igual aos outros dois: $q^{\alpha\beta} = q^{\alpha\gamma} \leq q^{\beta\gamma}$, $\forall \alpha, \beta, \gamma$. A distribuição de probabilidade das sobreposições (*overlaps*), dada pela função

$$P(q) = \lim_{n \rightarrow 0} \frac{1}{n(n-1)} \sum_{\alpha \neq \beta} \delta(q - q^{\alpha\beta}) \quad (12)$$

caracteriza a estrutura do espaço das réplicas.

A solução do modelo de Sherrington-Kirkpatrick é dada pelo *ansatz* de Parisi com quebra de simetria das réplicas total, isto é, no limite $R \rightarrow \infty$. Neste caso, a variável m_r torna-se contínua e o parâmetro de ordem para os vidros de spin q_r torna-se uma função contínua

$$m_r \rightarrow x \quad (13)$$

$$q_r \rightarrow q(x) \quad (14)$$

com $0 \leq x \leq 1$, no limite $n \rightarrow 0$. A solução encontrada para o parâmetro de ordem $q(x)$ implica uma distribuição de probabilidade para os *overlaps* com a seguinte forma: $P(q)$ tem um pico no *overlap* máximo, $q(1) \propto (T_f - T) T_f$, e estende-se de forma contínua até ao *overlap* mínimo, $q(0) \propto (h/J)^{2/3}$, o qual é zero na ausência de campo magnético. O parâmetro de ordem de Edwards-Anderson corresponde ao valor máximo de $q(x)$, $q_{EA} = q(1)$. Parisi verificou que o problema da entropia negativa não existe mais com a quebra de simetria das réplicas total.

Em 1983, De Dominicis e Kondor [11] mostram que a solução do modelo de Sherrington-Kirkpatrick com o *ansatz* de Parisi é estável. Em 2006, Talagrand [12] provou que o *ansatz* de Parisi constitui a solução exata do modelo de Sherrington-Kirkpatrick e, em 2013, Panchenko [13] provou de forma rigorosa a existência de ultrametricidade no *ansatz* de Parisi.

A interpretação física do *ansatz* de Parisi não foi evidente, tendo sido dada por Parisi e os seus colaboradores, em 1983, [14,15]. Considere a energia livre de um vidro de spin em função dos estados de configuração dos spins, (ilustrada na Figura 4), e que o espaço dos estados está dividido em muitos vales, mínimos da energia livre, separados por barreiras de energia infinita, correspondendo cada vale a um estado. Cada estado, indicado com um índice a , é caracterizado por uma energia livre F_a , um peso estatístico $\omega_a \propto \exp(-\beta F_a)$ e uma magnetização local $\langle S_i \rangle_a$. Define-se o *overlap* dos estados por

$$q_{ab} = \frac{1}{N} \sum_i \langle S_i \rangle_a \langle S_i \rangle_b. \quad (15)$$

O *self-overlap* q_{aa} é igual para todos os estados, constitui o valor máximo de q_{ab} e identifica-se com o parâmetro de ordem de Edwards-Anderson, $q_{aa} = q_{EA}$. A distribuição de probabilidade do *overlap* dos estados é dada por

$$P(q) = \sum_{a,b} \omega_a \omega_b \delta(q - q_{ab}) \quad (16)$$

A função $P(q)$ caracteriza a estrutura do espaço de estados do sistema. Verifica-se então que existe uma relação íntima entre a presença de

múltiplos estados e a quebra de simetria das réplicas. Devido à energia livre ter muitos vales separados por barreiras de energia infinita, os vidros de spin têm um comportamento não ergódico, isto é, o sistema fica aprisionado em estados, não podendo transitar para outros estados com energia equivalente. A quebra de ergodicidade e a quebra de simetria das réplicas estão relacionadas.

O *ansatz* de Parisi, solução do modelo de Sherrington-Kirkpatrick, fornece uma descrição dos vidros de spin em teoria de campo médio, a qual prevê que o sistema é constituído por um número infinito de estados, organizados numa estrutura hierárquica que é ultramétrica. Verifica-se assim que sistemas aparentemente desordenados como os vidros de spin têm uma estrutura interna com um determinado tipo de topologia.

Parisi mostrou uma criatividade genial, ao descobrir a capacidade do método das réplicas para descrever sistemas com múltiplos estados, utilizando a técnica de quebra de simetria das réplicas, e propor uma nova forma de parâmetro de ordem para caracterizar sistemas complexos, definido em termos do *overlap* entre estados, o qual permite desvendar estruturas internas ocultas, tendo ainda apresentado um *ansatz* que mais tarde foi provado ser a solução exata do modelo de Sherrington-Kirkpatrick.

O método das réplicas, em conjunto com a técnica de quebra de simetria das réplicas, permite descrever e compreender uma enorme variedade de sistemas com múltiplos estados, pelo que constitui um instrumento fundamental da teoria de sistemas complexos.

Outros Sistemas Complexos

Os conceitos e técnicas desenvolvidas no estudo de vidros de spin tiveram um enorme impacto em física e outras áreas, muito diversas. Apresentam-se alguns exemplos de sistemas complexos estudados.

Na área da física, foram estudados vários materiais e fenómenos por Parisi e os seus colaboradores [16], utilizando o método das réplicas. Os vidros estruturais, ou frágeis, têm uma transição de fase a uma temperatura T_g , para uma fase a baixa temperatura, amorfa, onde as moléculas constituintes do sistema se encontram em posições aleatórias fixas. Estes sistemas apresentam uma multiplicidade de estados correspondentes a diferentes configurações das posições das moléculas. Foi desenvolvida a *random first order theory* para a transição de fase e fase a baixa temperatura dos vidros estruturais, que representa um avanço muito significativo no estudo daqueles materiais. Os materiais granulares têm uma transição de fase a uma densidade ρ_g , para uma fase com densidade mais elevada, onde as partículas se encontram bloqueadas (*jammed*), apresentando múltiplos estados, correspondentes a diferentes empacotamentos das partículas. Foi desenvolvida uma teoria geométrica para a transição de fase e fase de *jamming* em materiais granulares, com aplicação muito geral.

Na área de neurociência, houve um avanço importante na compreensão de redes neuronais e atividade cerebral, devido ao estudo de vidros de spin [17]. Hopfield [18] propôs um modelo para redes neuronais, que pode ser descrito da seguinte forma: os neurónios (com dois estados, ativo ou não ativo) são representados por spins de Ising e a comunicação entre os neurónios (excitatória ou inibitória) é representada por interações positivas e negativas, a atividade cerebral está inscrita nas interações, que evoluem no tempo, permitindo um processo de aprendizagem. A energia da rede neuronal em função das múltiplas configurações dos neurónios tem uma paisagem com muitos vales. No caso de memória associativa, um conjunto de memórias, representadas por padrões de neurónios, é armazenado nas interações e os vales correspondem às memórias. Um estímulo exterior seleciona um vale recuperando a memória. O modelo de Hopfield foi estudado utilizando o modelo das réplicas. As contribuições do estudo de vidros de spin na área da biologia são variadas, incluindo, evolução pré-biótica e dinâmica de proteínas [19].

Na área da matemática, o estudo de vidros de spin deu uma contribuição especial para o desenvolvimento da teoria de otimização combinatória. Mézard e Parisi [20] utilizaram o método das réplicas para estudar o problema do *traveling salesman*: qual é a distância mínima que um vendedor tem de viajar para visitar um número de cidades e voltar à cidade de origem? Define-se a função custo, como a distância percorrida na viagem em função do percurso, a qual apresenta uma paisagem com muitos vales, e procura-se o mínimo, ou mínimos, da função. Foram estudados outros problemas de otimização como, *matching*, *graph partitioning* e *satisfiability*. A aplicação do estudo de vidros de spin em teoria da informação [21] tem ganho uma enorme relevância, com o desenvolvimento de técnicas de processamento de informação, muito eficazes, que utilizam o método das réplicas para correção de erros e reconstrução de imagens.

Na área de ciência da computação, o estudo de vidros de spin levou à criação de novos algoritmos e à construção de novos computadores. Foram criados algoritmos para otimização, muito rápidos, como o de *simulated annealing* desenvolvido por Kirkpatrick, Gelatt e Vecchi [22] e o de *simulated tempering* desenvolvido por Marinari e Parisi [23]. Parisi e os seus colaboradores construíram computadores com uma arquitetura própria para a realização de simulações de Monte Carlo em vidros de spin, o Janus (2008), e uma nova geração, o Janus II (2014). *Machine learning*, um sub-domínio de *artificial intelligence*, usa algoritmos com treino para tomar decisões ou fazer previsões, de forma autónoma, podendo evoluir com a experiência. Uma das formas de implementação de *machine learning* utiliza redes neuronais artificiais. O estudo de vidros de spin tem dado um importante contributo para o desenvolvimento de redes neuronais artificiais e *machine learning* [21].

As descobertas revolucionárias de Parisi, na teoria de sistemas desordenados complexos, promoveram uma

notável fertilização de ideias em áreas muito diversas, possuindo um forte potencial para novas e surpreendentes aplicações e implicações.

Giorgio Parisi é um extraordinário cientista, trabalhou em várias áreas da física, tendo dado importantes contribuições em física de partículas, física estatística e física da matéria condensada, em especial no estudo de sistemas desordenados complexos. Estudou também uma grande variedade de fenómenos que envolvem processos aleatórios, tendo entre outros trabalhos de grande relevo, proposto um mecanismo de sincronização estocástica para explicar a periodicidade na glaciação planetária [24]. Mais recentemente, num trabalho pioneiro, desenvolveu uma análise da formação de estruturas no movimento de bandos de pássaros [25]. Citando Parisi: “*The starling flocks may seem very far from spin glasses, but there is something in common. What they share, and what is very interesting, is how complex behaviours arise*”.

Referências

- [1] The Nobel Prize in Physics 2021 (<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2021/summary/>)
- [2] K. Binder and A. P. Young, “*Spin glasses: experimental facts, theoretical concepts, and open questions*”, Rev. Mod. Phys. 58, 801 (1986).
- [3] M. Mézard, G. Parisi and M. A. Virasoro, “*Spin Glass Theory and Beyond*”, World Scientific, Singapore (1987).
- [4] K. H. Fischer and J. H. Hertz, “*Spin Glasses*”, Cambridge University Press, Cambridge (1991).
- [5] S. F. Edwards and P. W. Anderson, “*Theory of spin glasses*”, J. Phys. F 5, 965 (1975).
- [6] D. Sherrington and S. Kirkpatrick, “*Solvable model of a spin-glass*”, Phys. Rev. Lett. 35, 1792 (1975).
- [7] J. R. L. de Almeida and D. J. Thouless, “*Stability of the Sherrington-Kirkpatrick solution of a spin glass model*”, J. Phys. A 11, 983 (1978).
- [8] G. Parisi, “*Infinite number of order parameters for spin-glasses*”, Phys. Rev. Lett. 43, 1574 (1979).
- [9] G. Parisi, “*The order parameter for spin glasses: a function of the interval 0-1*”, J. Phys. A 13, 1101 (1980).
- [10] G. Parisi, “*Magnetic properties of spin glasses in a new mean field theory*”, J. Phys. A 13, 1887 (1980).
- [11] C. De Dominicis e I. Kondor, “*Eigenvalues of the stability matrix for Parisi solution of the long-range spin-glass*”, Phys. Rev. B 27, 606 (1983).
- [12] M. Talagrand, “*The Parisi formula*”, Annals of Mathematics 163, 221 (2006).
- [13] D. Panchenko, “*The Parisi ultrametricity conjecture*”, Annals of Mathematics 177, 383 (2013).
- [14] G. Parisi, “*Order parameter for spin glasses*”, Phys. Rev. Lett. 50, 1946 (1983).

- [15] M. Mézard, G. Parisi, N. Surlas, G. Toulouse, M. Virasoro, “*Nature of the spin-glass phase*”, Phys. Rev. Lett. 52, 1156 (1984).
- [16] G. Parisi, P. Urbani and F. Zamponi, “*Theory of Simple Glasses*”, Cambridge University Press, Cambridge (2020).
- [17] D. J. Amit, H. Gutfreund and H. Sompolinsky, “*Spin-glass models of neural networks*”, Phys. Rev. A 32, 1007 (1985).
- [18] J. J. Hopfield, “*Neural networks and physical systems with emergent collective computational abilities*”, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 79, 2554 (1982).
- [19] D. L. Stein, Ed., “*Spin Glasses and Biology*”, World Scientific, Singapore (1987).
- [20] M. Mézard and G. Parisi, “*A replica analysis of the traveling salesman problem*”, J. Phys. 47, 1285 (1986).
- [21] H. Nishimori, “*Statistical Physics of Spin Glasses and Information Processing*”, Oxford University Press, Oxford (2001).
- [22] S. Kirkpatrick, C.D. Gelatt and M. P. Vecchi, “*Optimization by simulated annealing*”, Science 220, 671 (1983).
- [23] E. Marinari and G. Parisi, “*Simulated tempering: a new Monte Carlo scheme*”, Europhys. Lett. 19, 451 (1992).
- [24] R. Benzi, G. Parisi, A. Sutera and A. Vulpiani, “*Stochastic resonance in climate change*”, Tellus 34, 10 (1982).
- [25] M. Ballerini, N. Cabibbo, R. Candelier, A. Cavagna, E. Cisbani, I. Giardina, V. Lecomte, A. Orlandi, G. Parisi, A. Procaccini, and M. Viale, and V. Zdravkovic, “*Interaction ruling animal collective behaviour depends on topological rather than metric distance: evidence from a field study*”, Proc. Natl. Acad. Sci. USA 105, 1232 (2008).



Iveta Pimentel, é Professora Associada com Agregação no Departamento de Física, e membro do Centro de Física Teórica e Computacional, da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL). Fez a Licenciatura e o Mestrado em Física na FCUL e o Doutoramento em Física no Department of Theoretical Physics, University of Oxford, UK. Obteve a Agregação em Física na FCUL. Realizou um pós-doutoramento no Department of Physics, University of California at Los Angeles, USA, e foi investigadora visitante no Service de Physique Théorique de Saclay - CEA, France. Desenvolve trabalho de investigação em Física da Matéria Condensada teórica, os seus interesses científicos centram-se em sistemas magnéticos com desordem e frustração, sistemas eletrónicos fortemente correlacionados e quasicristais. Trabalhou em vidros de spin, nomeadamente, no estudo do efeito das flutuações sobre a teoria de campo médio, em sistemas com interações de curto-alcance.

Aprender + FQ (Físico-Química) com motivação – Quizzes

Um estudo com alunos do 9.º ano

Attila Gören¹, Ana Cristina R. Silva¹, Carlos M. Costa², Senentxu Lanceros-Méndez^{2,3,4}

¹ Agrupamento de Escolas de Real (Braga)

² Centro de Física, Universidade do Minho, 4710-057 Braga, Portugal

³ Basque Center for Materials, Applications and Nanostructures (BCMaterials), Edif. Martina Casiano, Pl. 3, Parque Científico UPV/EHU, Barrio Sarriena s/n, 48940 Leioa, Bizkaia, Espanha.

⁴ IKERBASQUE, Basque Foundation for Science, 48009 Bilbao, Spain

cmscosta@fisica.uminho.pt

Resumo

No ano letivo 2020/2021, foi desenvolvido o projeto “Aprender +FQ com motivação – Quizzes” com todos alunos do 9.º ano de escolaridade, no Agrupamento de Escolas de Real (Braga). Pretendeu-se aumentar os níveis de interesse, motivação e conhecimentos dos alunos na disciplina de físico-química, através da introdução de elementos de jogo (“Gamificação”) no processo de ensino-aprendizagem, e que se encontram integrados na plataforma online de ensino à distância (E@D) Quizizz (<https://quizizz.com/>). A realização de jogos didáticos online, sob o formato de lição e quiz, num ambiente saudável de competição, sobre todos os conteúdos lecionados na disciplina de físico-química do 9.º ano de escolaridade, pretende responder eficazmente a uma nova realidade de ensino que emergiu com a doença Covid-19, declarada de dimensão pandémica pela Organização Mundial de Saúde no dia onze de março de 2020: ensino presencial, misto e não presencial. Verificou-se através dos resultados obtidos no estudo que os alunos reconhecem a mais valia da realização dos quizzes, sob o formato de lição ou quiz, num ambiente de jogo, como uma mais valia para a sua aprendizagem de conteúdos lecionados na disciplina de físico-química do 9.º ano de escolaridade.

1. Introdução

No ano letivo 2020/2021, foi desenvolvido o projeto “Aprender +FQ com motivação - Quizzes” com todos os alunos do 9.º ano de escolaridade, no Agrupamento de Escolas de Real (Braga), em colaboração com o grupo de investigação Electroactive Smart Materials, do Centro de Física da Universidade do Minho.

Com este projeto, pretende-se aumentar os níveis de interesse, motivação e conhecimentos dos alunos na disciplina de físico-química, através da introdução de elementos de jogo

(“Gamificação”) no processo de ensino-aprendizagem, e que se encontram integrados na plataforma *online* de ensino à distância (E@D): Quizizz (<https://quizizz.com/>). Diversos estudos elucidam as vantagens da introdução de elementos de jogo nos processos de ensino-aprendizagem. Pitoyo [1] refere que a integração de elementos de jogo em processos avaliativos se traduz num bem-estar psicológico positivo dos estudantes como resultado de uma menor ansiedade. Segundo Göksün [2] a falta de motivação em estudar [3] e a falta de empenho dos estudantes em ambientes formais de aprendizagem [4] tornou-se um problema fundamental na educação moderna como resultado da revolução digital. A literatura refere [2] que o problema da falta de motivação e de empenho não pode ser resolvida por métodos convencionais sugerindo como uma possível abordagem de solução a introdução de elementos de jogo no sistema educativo. Gamificação é o método que se baseia em aplicar elementos de jogo em contextos de não-jogo [5]. O objetivo da gamificação não é criar um novo paradigma de ensino no formato de jogo, mas inserir elementos de jogo num contexto de ensino habitual de forma a poder estimular certos sentidos, sem, no entanto, abandonar a realidade do mesmo [6]. Na área da educação, a gamificação é uma forma de jogar jogos criativos na sala de aula sem comprometer o rigor científico do currículo [7]. A gamificação torna a aprendizagem mais divertida e interativa, aumentando a motivação dos estudantes em aprender e estudar [8]. Além disso, a gamificação fornece dados sobre a aprendizagem realizada pelo estudante, aos professores, encarregados de educação e decisores políticos através de informações mais eficientes, precisas e atempadas [9]. A comunicação

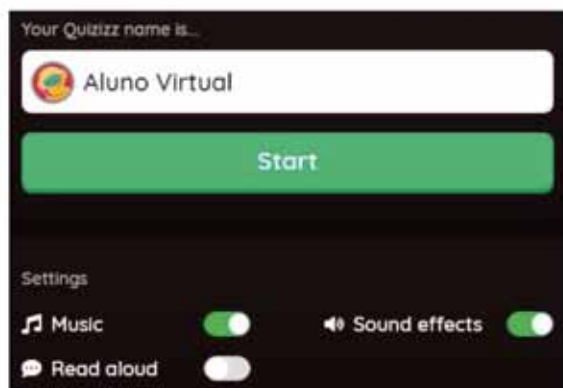


Figura 1 - Modo de exibição (display) inicial para o aluno



Figura 2 - Tópico em estudo: M13 – Forças e Fluidos: 73 slides composto por 27 slides de conteúdo teórico + 47 questões

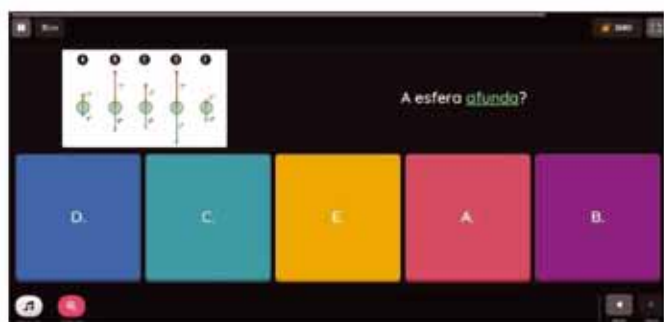


Figura 3 - Slide 31/73 com uma questão de escolha múltipla

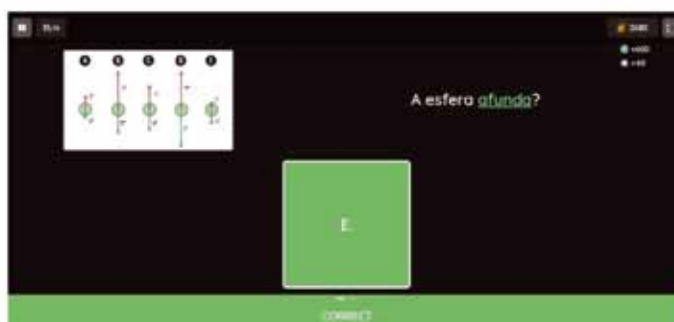


Figura 4 - Slide 31/73 com resposta correta e pontuação (Resposta correta: + 600 pontos; rapidez de resposta: + 40 pontos; Pontuação total: 2680)

dos resultados individuais em tempo real, através do recurso a elementos de jogo, tais como pontuação, crachás, classificação e recompensas contribui para o aumento do empenho do aluno na aprendizagem e reforça a sua atitude em atingir determinadas metas [10]. Além disso, os elementos de jogo apoiam a monitorização e avaliação das metas de aprendizagem alcançadas pelos alunos [3,11,12]. O uso ativo do *feedback* é uma componente fundamental do processo de avaliação formativa [13]. A aplicação da gamificação como ferramenta da avaliação formativa faculta informações valiosas sobre o processo de aprendizagem dos alunos desde o primeiro momento [14], para além de permitir observar a motivação dos alunos, monitorizar os seus traços emocionais e metacognitivos, e compreender o seu comportamento

específico. Além disso, o *feedback* instantâneo obtido com base em avaliações incorporadas permite consciencializar os alunos das suas dificuldades sentidas durante a experiência de jogo [14]. Um maior nível de gamificação e de *feedback* traduz-se numa melhoria de aprendizagem dos alunos [13].

A título exemplificativo representa-se nas figuras 1 a 7 o layout da plataforma quizizz, do ponto de vista do aluno, de nome Aluno Virtual, durante a realização de um quiz em formato de Lição sobre o tópico Forças e Fluidos (Física – 9.º ano de escolaridade). No formato Lição, o aluno pode consultar informação teórica em formato de slides de power-point's e vídeos explicativos e responder às questões colocadas sobre o tópico em estudo.

A partir da figura 7, pode constatar-se que o aluno obteve uma classificação global de 89 %, tendo respondido

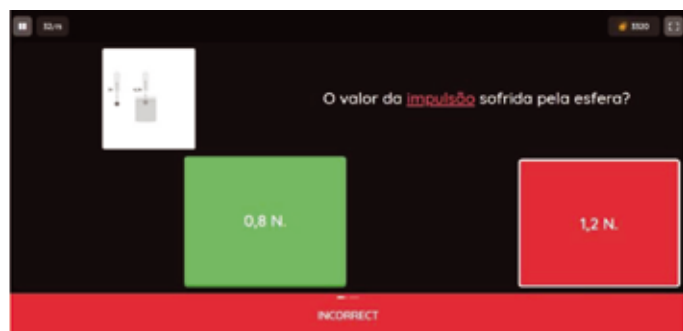


Figura 5 - Slide 32/73 com uma resposta incorreta

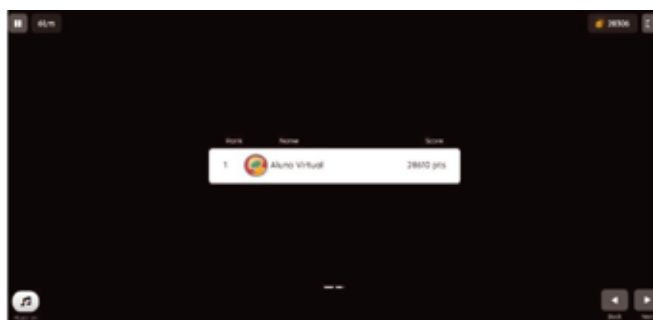


Figura 6 - Lista dos melhores (leaderboard) slide 61/73

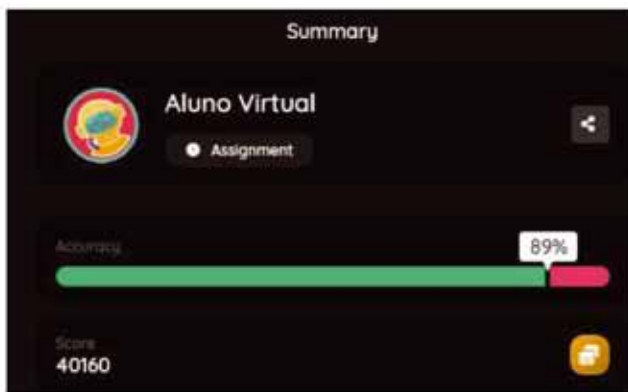


Figura 7 - Resumo global final apresentado ao aluno

corretamente a 42 das 47 questões colocadas. O tempo médio que demorou para responder a cada pergunta foi de 21,9 segundos. Uma das perguntas não foi respondida no tempo limite estipulado. A pontuação total atingida (somatório da pontuação obtida por cada questão corretamente respondida e no menor tempo possível) foi de 40160 pontos. No final da Lição, é dada ao aluno a possibilidade de rever todas as questões respondidas corretamente (Fig.8.a), incorretamente (Fig. 8.b) e que não foram respondidas por esgotamento do tempo estipulado (Fig. 8.c)



Figura 8.a - Resposta correta

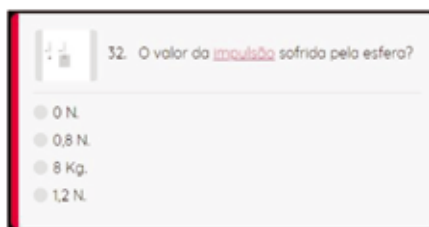


Figura 8.b - Resposta incorreta

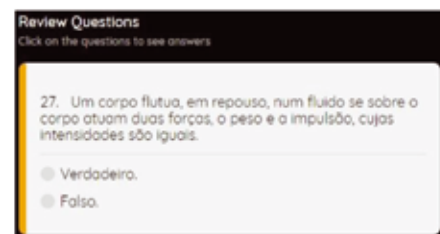


Figura 8.c - Não respondido

O *layout* visualizado pelo professor referente ao resultado global final obtido pelo aluno (Fig. 6 e 7) é apresentado na figura 9.

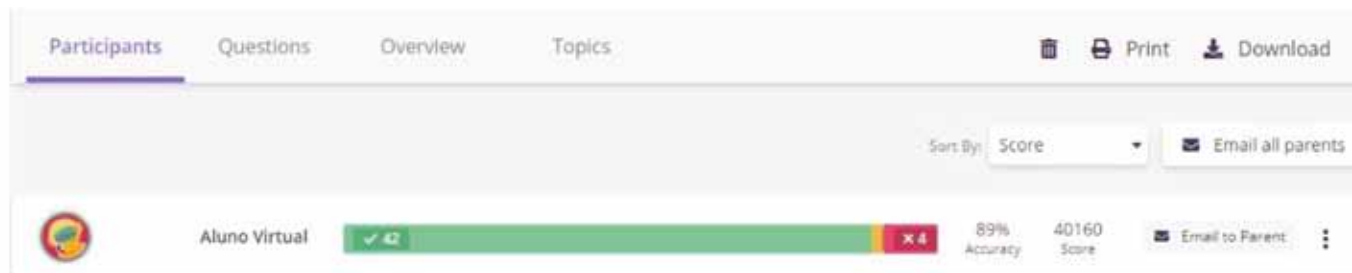


Figura 9 - *Layout* do resultado global do aluno "Aluno Virtual" - ponto de vista do professor

O professor pode, a partir do painel apresentado na figura 9, analisar o resultado do(s) seu(s) educando(s) em diferentes formatos: - questão a questão (*Questions*) (Figura 10); - forma global (*Overview*) (Figura 11); - imprimir, em pdf, os resultados questão por questão, por aluno, para todos os alunos; transferir em Excel os resultados globais e por aluno.



Figura 10 - Apresentação dos resultados do(s) educando(s) em formato de questão por questão (*Questions*).

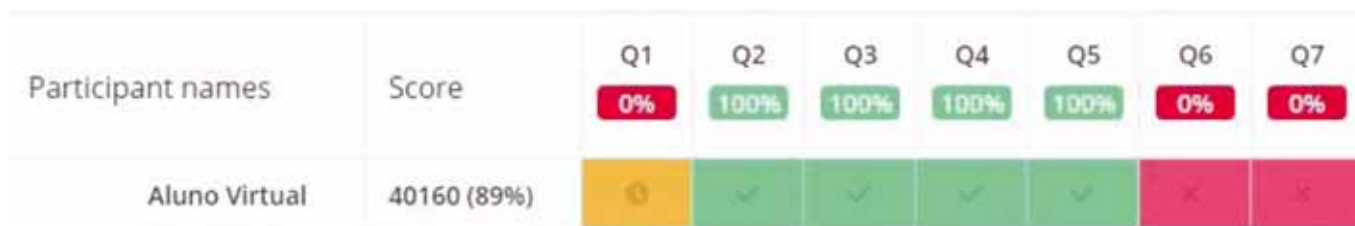


Figura 11 - Apresentação dos resultados, por educando, em formato de questão por questão (Overview)

A tabela 1 apresenta algumas características específicas da plataforma online *quizizz* [2].

2. O estudo

Neste estudo, pretende-se conhecer a opinião dos alunos do 9.º ano de escolaridade do Agrupamento de Escolas de Real (Braga, Portugal), sobre a mais valia dos quizzes ao nível do ensino-aprendizagem da disciplina de físico-química bem como no que respeita à componente do jogo.

Na semana de 8 a 12 de fevereiro de 2021, responderam um total de 159 alunos (87 rapazes e 72 raparigas), do 9.ºA, B, C, D, E, F, G e H a um inquérito, elaborado no google forms, no formato de questionário.

Os alunos apresentam a seguinte distribuição etária: 13 anos (2,5 %); 14 (67,9 %); 15 (27 %); 16 (1,3 %), 17 ou mais (1,3 %). 91,8 % dos alunos começaram os seus estudos de físico-química no sétimo ano de escolaridade e 89,7 % dos alunos obtiveram avaliação positiva à disciplina de físico-químico no final do primeiro período do ano letivo 2020/2021. 56,6 % dos alunos referem que jogaram pela primeira vez quizzes no ano letivo presente.

A tabela 2 sintetiza as respostas dadas pelos alunos às diferentes questões sobre a mais valia dos quizzes ao nível do ensino-aprendizagem da disciplina de físico-química. As respostas dividem-se em cinco níveis, segundo a escala de Likert: Concordo Totalmente (C.T.), Concordo (C.), Indiferente ou neutro (I), Discordo (D) e Discordo Totalmente (D.T.).

Mais de 93 % dos alunos concordam que a realização dos quizzes lhes permite compreender melhor a matéria (questão 1), ajuda a memorizar os conceitos (questão 2) e aumenta os conhecimentos na disciplina de físico-química (questão 9). 95,6 % dos alunos gostam da avaliação formativa no formato de quizzes (questão 5). Mais de metade dos alunos (59,1 %) gostam mais das aulas de físico-química por poderem jogar quizzes (questão 3). Jogar quizzes no decorrer das aulas de físico-química tem um impacto positivo a nível do aumento da atenção e da concentração em 39,6 % dos alunos (questão 4). Um reduzido número de alunos (16,9 %) revela nervosismo durante o jogo (questão 6). Cerca de dois terços dos alunos (67,3 %) reconhecem um efeito positivo a nível do aumento da sua participação durante as aulas (questão 8) bem

Tabela 1 - Características específicas da plataforma online *quizizz*

Características	Quizizz
Apresentação das perguntas	As perguntas e respetivas opções de resposta são apresentadas individualmente no ecrã dos participantes numa ordem fixa (formato lição) ou aleatória (formato quiz).
Progressão	Cada participante pode responder à pergunta seguinte após ter respondido à pergunta anterior no seu ecrã, ou após ter atingido o tempo limite.
Feedback	<i>Mensagens positivas ou negativas são imediatamente apresentadas após cada resposta dada pelo participante.</i>
Requisitos técnicos	Um dispositivo com conexão à internet (p.ex: smartphone, tablet, portátil ou computador de mesa) no qual o professor inicia a plataforma online <i>quizizz</i> e o aluno possa responder.
Extensão da pergunta	Não existe limite de caracteres.
Desenvolvimento das perguntas e respectivas opções	O número das opções é flexível em cada resposta. As questões bem como as respostas incluem opções visuais. É possível ver como o jogo no formato lição ou quiz é apresentado ao aluno durante a elaboração do mesmo (modo <i>Preview</i>).

Tabela 2 - Respostas dadas pelos alunos, categorizadas segundo a escala de Likert, sobre a mais valia dos quizzes ao nível do ensino-aprendizagem da disciplina de físico-química.

		C.T. + C	I	+ D.T
1	Jogar <i>quizzes</i> ajuda-me a compreender melhor a matéria de físico-química.	96,8 %	3,1 %	0 %
2	Jogar <i>quizzes</i> ajuda-me a memorizar os conceitos de físico-química.	93,1 %	6,3 %	0,6 %
3	Eu gosto mais das aulas de físico-química por jogar <i>quizzes</i> .	59,1 %	22,6 %	11,3 %
4	Eu estou mais atento(a) e concentrado(a) nas aulas de físico-química por jogar <i>quizzes</i> .	39,6 %	43,4 %	16,9 %
5	Eu gosto de responder a questões dos <i>quizzes</i> (avaliação formativa).	95,6 %	4,4 %	0 %
6	Sinto-me nervoso(a) quando jogo <i>quizzes</i> .	16,9 %	25,8 %	57,2 %
7	Jogar <i>quizzes</i> aumenta o meu trabalho colaborativo com os colegas da turma.	74,8 %	22,0 %	3,1 %
8	Os <i>quizzes</i> aumentam a minha participação durante as aulas de físico-química.	67,3 %	29,6 %	3,2 %
9	Os <i>quizzes</i> aumentam os meus conhecimentos na disciplina de físico-química.	93,7 %	6,3 %	0 %
10	Os <i>quizzes</i> aumentam a minha capacidade em pensar sobre estratégias de resolução de problemas.	83 %	15,1 %	1,9 %
11	A possibilidade de repetir o mesmo quiz várias vezes ajuda-me a aprender mais e melhor.	93,1 %	6,3 %	0,6 %
12	Os slides com a teoria e vídeos explicativos no formato lição da plataforma online <i>quizizz</i> ajudam-me a compreender a matéria de físico-química.	83,1 %	14,5 %	2,6 %
13	Eu utilizo os slides com a teoria e vídeos explicativos no formato lição da plataforma online <i>quizizz</i> para estudar.	67,4 %	20,1 %	12,5 %
14	Eu utilizo o resumo final do jogo para identificar as minhas dúvidas e dificuldades.	81,7 %	13,8 %	4,4 %

Legenda: C.T. - Concordo Totalmente; C - Concordo; I - Indiferente ou neutro; D - Discordo; D.T. - Discordo Totalmente

como a nível do trabalho colaborativo (74,8 %, questão 7). A realização dos quizzes aumenta a capacidade em pensar sobre estratégias de resolução de problemas (questão 10) em mais de 4/5 (83 %) dos alunos.

A nível metodológico observa-se que a possibilidade de repetir o mesmo quiz várias vezes ajuda uma elevada percentagem dos alunos (93,1 %) a aprender mais e melhor (questão 11). Cerca de dois terços dos alunos (67,4 %) utilizam os slides com a teoria e vídeos explicativos no formato lição para estudar (questão 13) e cerca de 4/5 dos alunos (83,1 %) reconhecem que os slides com a teoria e vídeos explicativos (questão 12) os ajudam na compreensão da matéria de físico-química. Por fim, cerca de 4/5 dos alunos (81,7 %) utilizam o resumo final do jogo (questão 14) para identificar as suas dúvidas e dificuldades.

Foi pedido aos alunos para escolherem a sequência de ensino - aprendizagem preferida, a partir das propostas metodológicas apresentadas na tabela 3.

Tabela 3 - Diferentes propostas metodológicas de ensino-aprendizagem

A	Exposição teórica do(a) Professor(a) com exemplos sobre a nova matéria.
B	Resolução de um quiz em formato de lição.
C	Tirar dúvidas sobre as questões que suscitaram mais dificuldades no quiz com o Professor
D	Resolução de exercícios do manual e caderno de atividades.

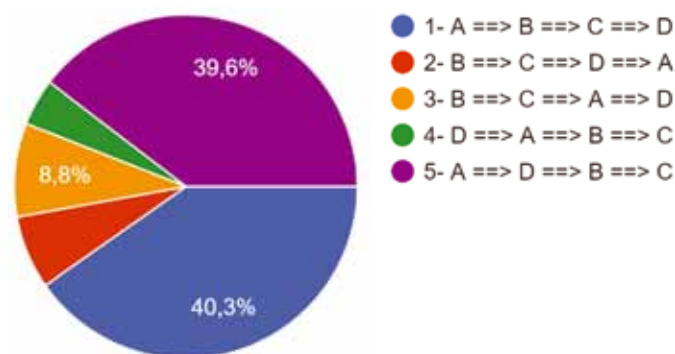


Figura 12 - Gráfico de distribuição das preferências dos alunos sobre a sequência de abordagem das diferentes metodologias.

A partir dos resultados apresentados na figura 12 pode observar-se que as sequências 1 e 5 são as preferidas dos alunos. A principal diferença entre estas duas sequências é o momento da realização do quiz. Enquanto que na sequência 1 o professor aplica o quiz logo após a exposição teórica da matéria lecionada, na sequência 5, o professor explica a matéria do ponto de vista teórico, resolve com os alunos alguns exercícios tipo do manual e do caderno de atividades e só depois aplica o quiz. Estas duas sequências (1 e 5) dão um maior destaque ao papel do professor numa primeira abordagem de um determinado conteúdo a ser lecionado, quando comparado às sequências 2 e 3, que totalizam 15,7 % das preferências dos alunos. As abordagens metodológicas 2 e 3 enfatizam, numa primeira fase, um papel mais autónomo e ativo do aluno no seu processo de aprendizagem, uma vez que é o aluno que deve visualizar os vídeos e apontamentos disponibilizados na plataforma *online quizizz* no formato lição, tirar os seus apontamentos, e seguidamente realizar

as questões do quiz de forma a verificar o seu nível de conhecimento e respetivas lacunas. As sequências 2 e 3 aproximam-se da sala de aula invertida (*flipped classroom*) [15], segundo a qual a lógica da organização da sala de aula é invertida, ou seja, o aluno estuda o conteúdo através do meio virtual (formato lição da plataforma *online quizizz*) em qualquer local em que tenha acesso à internet e a sala de aula presencial/online é o local de interação professor-aluno para tirar dúvidas e realizar atividades de grupo, por exemplo [15].

A tabela 4 sintetiza as respostas dadas pelos alunos às diferentes questões sobre a mais valia dos quizzes ao nível da componente do jogo. As respostas dividem-se em cinco níveis, segundo a escala de Likert: Concordo Totalmente (C.T.), Concordo (C.), Indiferente ou neutro (I), Discordo (D) e Discordo Totalmente (D.T.).

Tabela 4 - Respostas dadas pelos alunos, categorizadas segundo a escala de Likert, sobre a mais valia dos quizzes ao nível da componente do jogo.

		C.T. + C	I	D + D.T
1	Conhecer a pontuação dos colegas durante o quiz motiva-me em melhorar os meus resultados pessoais.	66 %	27,7 %	6,3 %
2	O quiz permite-me competir com os colegas da turma.	57,9 %	34 %	8,2 %
3	O quiz cria uma atmosfera competitiva.	56 %	24,5 %	14,4 %
4	O quiz cria um ambiente de jogo.	82,4 %	15,1 %	2,5 %
5	Eu sinto-me encorajado em ser o primeiro na lista dos melhores (<i>Leaderboard</i>)	74,9 %	19,5 %	5,7 %
6	O quiz tem um modo de exibição (<i>display</i>) atrativo.	76,6 %	21,4 %	1,9 %

Legenda: C.T. - Concordo Totalmente; C - Concordo; I - Indiferente ou neutro; D - Discordo; D.T. - Discordo Totalmente

A partir dos dados da tabela 4 observa-se que cerca de 2/3 dos alunos (66 %) aderem à lógica do jogo quando referem que conhecer a pontuação dos colegas (questão 1) os motiva em melhorar os seus resultados pessoais. Além disso, mais de metade dos alunos, 57,9 % (questão 2) e 56 % (questão 3), respetivamente, destacam o fator competição como elemento central do jogo quiz. Quase 3/4 dos alunos (74,9 %) sentem-se encorajados a serem os primeiros na lista dos melhores (*leaderboard*). Por fim, o conceito gaming é destacado por 82,4 % dos alunos quando referem que o quiz cria um ambiente de jogo e por 76,6 % dos alunos que consideram o modo de exibição (*display*) atrativo.

Na figura 13, apresentam-se os elementos de jogo que os alunos mais valorizam por ordem decrescente da sua importância.

A partir da figura 13 pode concluir-se que os elementos de jogo que os alunos mais valorizam são a pontuação (87 %), o relatório final de jogo (81 %) e a lista dos melhores (*leaderboard*) (71 %).

Por fim, foi pedido aos alunos para partilharem no questionário, por palavras suas, alguma crítica ou algo



Figura 13 - Gráfico representativo dos elementos de jogo mais valorizados pelos alunos.

que achassem relevante sobre o *quiz*.

As respostas dadas pelos alunos refletem, na sua linguagem simples e direta, a sua opinião sobre aprender físico-químico com o recurso aos *quizzes*:

Aluno 1: "O *quiz* é uma ferramenta muito boa para fixar os conteúdos, é um ótimo apoio para fora das aulas, gosto de como ele é utilizado"

Aluno 2: "É uma maneira mais divertida de nós aprendermos ..."

Aluno 3: "Acho que os *quizzes* ajudam a aprender melhor a matéria e... também se algum colega tiver dúvidas em alguma pergunta do *quiz*, podemos ajudá-lo"

Aluno 4: "acho o *quiz* importante porque ajuda a compreender melhor a matéria, também ajuda muito para estudar para os testes ... com os *quizzes* parece que me sinto mais motivada para estudar."

Aluno 5: "Para mim o *quiz* é uma plataforma excelente para quem gosta de aprender e jogar ao mesmo tempo, e quando se joga com os colegas dá para competirmos entre nós e ver os nossos conhecimentos"

Aluno 6: "Acho divertido usar esta plataforma porque querendo ou não compreende-se melhor a matéria"

Aluno 7: "nada a acrescentar, muito boa plataforma, ... pois diverte mais as aulas e motiva-nos a estudar mais físico-química."

Aluno 8: "Na minha opinião os *quizzes*, com matéria lecionada previamente, são uma boa forma de os alunos conseguirem a consolidar melhor as temáticas da sala de aula, incentivando-os com estes meios digitais."

Aluno 9: "Na minha opinião, os *quizzes* são formas muito boas de aplicar os conhecimentos, para além de conseguirmos estudar a matéria inteira para um teste, apenas com os slides e vídeos que lá se encontram."

Aluno 10: "Ajuda, de uma forma mais interativa, a captivar os alunos e a praticar a matéria de uma maneira mais divertida. Na minha opinião, são uma grande ajuda na hora de revisão da matéria"

Aluno 11: "Na minha opinião, não tenho nenhuma crítica a fazer sobre os *quizzes*. Antes pelo contrário, ajuda-me a ter consciência do meu conhecimento e das minhas dúvidas da disciplina, e isso ajuda-me bastante."

Aluno 12: "Penso que o *Quiz* é uma ótima forma de

verificarmos os nossos conhecimentos e permite-nos conhecer melhor as nossas dificuldades."

Aluno 13: "Acho que o *Quiz* é um meio de aprendizagem onde também nos divertimos a jogar, muitas vezes só queremos saber se tivemos ótimo resultado e nem damos conta que estamos a aprender. Acho o *Quiz* um meio incrível que nunca tinha jogado. Obrigado professor, por nos proporcionar estes momentos na sua aula, onde nós nos divertimos e aprendemos."

Aluno 14: "Os memes não têm piada e os sons são estranhos."

Aluno 15: "É uma maneira muito boa, eficiente e prática de entender a matéria"

Aluno 16: " Eu acho que a pontuação e o relatório final são muito importantes para sabermos o que melhorar, por isso são os que gosto mais."

Aluno 17: "Eu gostava de jogar um *quiz* por aula. A ordem que fazemos é boa. Primeiro a explicação e a resolução dos exercícios e no fim os *quizzes*."

Aluno 18: "Ajuda-me a melhorar a nota e isso é bom"

Aluno 19: "Eu não gosto muito de competições, por isso, para mim acaba por ser indiferente"

Aluno 20: "Na minha opinião, os *quizzes* que jogamos ajudam-me muito a compreender a matéria, apesar do ambiente da sala de aula ficar um pouco barulhento. No entanto, acho normal, pois estamos a "competir" uns com os outros. Em conclusão, os *quizzes* são uma boa forma de aprender!!"

Aluno 21: "Acho que os *quizzes* ajudam a sintetizar a matéria, a compreendê-la melhor e é mais uma forma de treino para estudar para os testes."

Aluno 22: "O *quiz* ajuda-nos a estudar e preparar para os testes. Os *slides* iniciais são fonte de grande informação da matéria dada e complementam a explicação do professor. É uma ótima ideia que nos ajuda a melhorar os nossos resultados."

Aluno 23: "O que eu acho importante sobre o *quiz* é que é uma nova maneira de aprender. Tudo torna-se mais simples para aqueles que se encontram com algumas dificuldades em perceber a matéria. E é engraçado porque estamos a "competir" uns com os outros sobre matéria dada na sala de aula."

Aluno 24: "Um dos aspetos que me leva a gostar de utilizar o *quiz* é que podemos repetir as vezes que quisermos e, assim, compreender as nossas dificuldades e tentar ultrapassá-las."

Aluno 25: "Penso que é uma forma de consolidar a matéria, mas também uma forma de descontrair do momento da aula

em si. Ajuda-nos a aprender a gerir o nosso tempo e a competir uns com os outros (o que puxa pelo nosso interesse), mas todos trabalhando para um único objetivo: aprender.”

Aluno 26: Gosto muito da estratégia que é atualmente utilizada em sala de aula (figura 12 – sequência 5). Relativamente ao *quiz*, aprecio a forma como é utilizado, agradando-me especialmente os “objetivos” ao longo do jogo que vão aumentando a minha motivação (tal como a “lista de posições”, os “poderes”(congelamento do tempo, dobro de pontos e etc....).

Com base nas respostas, podem-se destacar alguns aspetos que os alunos mais valorizam na aprendizagem da Física e da Química com o recurso aos quizzes, nomeadamente:

- aprendizagem com diversão/prazer e maior grau de motivação/satisfação;
- fomenta a ajuda e a cooperação entre alunos;
- ótimo recurso de preparação para os testes, por apresentar resumos/vídeos de cada matéria lecionada;
- cultiva a metacognição do aluno sobre os seus conhecimentos e dificuldades em tempo real;
- proporciona feedback contínuo sobre o nível dos conhecimentos dos alunos;
- bom complemento às outras atividades pedagógicas implementadas a nível da sala de aula;
- componentes do jogo e ambiente saudável de competição.

Alguns alunos referem que a componente de jogo é-lhes indiferente por não gostarem de jogar e consideram também os memes e os sons emitidos durante o jogo pouco apelativos.

3. Conclusão

Neste estudo pretendeu-se conhecer a opinião dos alunos do 9.º ano de escolaridade do Agrupamento de Escolas de Real (Braga, Portugal), sobre a mais valia dos quizzes ao nível do ensino-aprendizagem da disciplina de físico-química bem como ao nível da componente do jogo.

A partir da análise do questionário respondido pelos alunos pode concluir-se que:

- mais de 90 % dos alunos reconhecem que a realização dos quizzes lhes permite compreender melhor a matéria, memorizar os conceitos mais facilmente e aumentar os conhecimentos na disciplina de físico-química;
- mais de dois terços dos alunos reconhecem que o quiz tem um efeito positivo no aumento da sua participação nas aulas e a nível do trabalho colaborativo;
- quase 40 % dos alunos referem que jogar quizzes contribui para o aumento da atenção e concentração durante as aulas de físico-química;
- mais de 80 % dos alunos referem que a realização dos quizzes lhes aumenta a capacidade em pensar sobre estratégias de resolução de problemas;

Pode concluir-se ainda que mais de 80 % de alunos referem que a possibilidade de repetir o mesmo quiz várias vezes, a existência de resumos e vídeos explicativos teóricos incorporados nos quiz em formato lição e o resumo final do jogo lhes proporciona melhores experiências de aprendizagem, facilita a compreensão da matéria lecionada e facilita o processo de metacognição.

A nível da sequência da aprendizagem privilegiada, cerca de 80 % dos alunos preferem que, na primeira etapa, seja o professor a realizar a exposição teórica com exemplos sobre a nova matéria a abordar. Quanto às tarefas a realizar na segunda etapa, a opinião dos alunos é dividida. Metade dos alunos prefere que seja resolvido um quiz em formato lição enquanto que outra metade prefere a resolução de exercícios do manual e caderno de atividades antes da realização do quiz.

Quanto à mais valia do quiz ao nível da componente do jogo, 82,4 % dos alunos referem que o quiz cria um ambiente de jogo e 76,6 % dos alunos consideram o modo de exibição (display) atrativo. Os elementos de jogo mais valorizados pelos alunos são a pontuação (87%), o relatório final de jogo (81 %) e a lista dos melhores (leaderboard) (71 %).

Em suma, com base no estudo realizado pode concluir-se que os alunos reconhecem na realização de quizzes, sob o formato de lição ou quiz, num ambiente de jogo, uma mais valia para a sua aprendizagem de conteúdos lecionados na disciplina de físico-química do 9.º ano de escolaridade.

Agradecimentos

À Direção do Agrupamento de Escolas de Real (<http://www.aereal.edu.pt/>), aos alunos do 9.º ano de escolaridade do Agrupamento de Escolas de Real e aos colegas do Centro de Física da Universidade do Minho e do BCMaterials no âmbito do Electroactive Smart Materials (<https://www.facebook.com/electroactivesmg>) pelas interessantes discussões, trabalho conjunto e excecional ambiente. Agradecemos à Fundação para a Ciência e a Tecnologia pelo apoio através do projeto estratégico UID/FIS/04650/2020 (incluindo os fundos FEDER através do Programa COMPETE 2020 e Fundos Nacionais), projeto PTDC/FIS-MAC/28157/2017, e ao contrato de investigador FCT 2020.04028.CEECIND.

Referências

- [1] Pitoyo, M. et al., Gamification Based assessment: A Test Anxiety Reduction through Game Elements in Quizizz Platform. IJER, 4 (1), 2019, 22-32
- [2] Göksun, D. et al., Comparing success and engagement in gamified learning experiences via Kahoot and Quizizz. Computers & Education 135 (2019) 15-29
- [3] Lee, L. et al., Gamification in Education: What, How, Why Bother?. Academic Exchange Quarterly, ISSN 1096-1453, Vol. 15, Nº. 2, 2011, pág. 146
- [4] Kumar, B. et al (2012). Gamification in education-learn computer programming with fun. International Journal of Computers and Distributed Systems, 2(1), 2012, 46-53.
- [5] Deterding, S. et al., From game design elements to gamefulness: Defining gamification. 15th international academic MindTrek conference: Envisioning Future media environments, 2011, 9-15
- [6] Arkün, S. et al., Oyundanoyunlastırmaya. içinde A. Isman, F. Odabası, ve B. Akkoyunlu. Eğitim Teknolojileri Okumaları. Tojet- Sakarya Üniversitesi, 2016.
- [7] Nolan, J. et al. Beyond gamification: Reconceptualizing game-based learning in early childhood environments. Information, Communication & Society, 17(5), 2014, 594-608.
- [8] Muntean, C. I., Raising engagement in e-learning through gamification. 6th international conference on virtual learning, 2011, 323-329.
- [9] Darling-hammond, L., Teacher education and the American future. Journal of Teacher Education, 61, 2010, 35-47.
- [10] Glover, I., Play as you learn: Gamification as a technique for motivating learners. In J. Herrington, (Ed.). World conference on educational multimedia, hypermedia and telecommunications, 2013, Chesapeake.
- [11] Clarisó, R. et al., Gamification as a service for formative assessment elearning tools. 1st Workshop on Gamification and Games for Learning (Gami-Learn'17), 2017.
- [12] Kapp, K. M., The gamification of learning and instruction: Game-based methods and strategies for training and education. San Francisco, CA: Pfeiffer, 2012.
- [13] Delacruz, G. C. Games as formative assessment environments: Examining the impact of explanations of scoring and incentives on math learning, game performance, and help seeking. CRESST Report 796. National Center for Research on Evaluation, Standards, and Student Testing (CR), 2011.
- [14] Shute, V. J., et al., Stealth assessment in virtual worlds, 2010 (<https://www.adlnet.gov/>)
- [15] <https://www.edools.com/sala-de-aula-invertida/>



Ana Cristina R. Silva. é professora de Física e Química no Agrupamento de Escolas de Real (Braga). Licenciada em Física e Química, pela Universidade do Minho, Braga, Portugal. Seu trabalho está focado na lecionação das disciplinas de físico-química, desenvolvimento de projetos científico-pedagógicos e execução de cargos de gestão intermédia.



Attila Gören. é professor de Física e Química no Agrupamento de Escolas de Real (Braga). Mestre e Doutor em Física, pela Universidade do Minho, Braga, Portugal. Seu trabalho está focado na investigação e desenvolvimento de projetos inovadores na área científico-pedagógica, a par da lecionação e exercício de cargos de gestão intermédia.



Carlos M. Costa. licenciou-se em Física em 2005, finalizou o mestrado em Engenharia de Materiais em 2007 e obteve o grau de Doutor em Física em 2014 na Universidade do Minho, Braga, Portugal. Atualmente, é investigador na mesma Universidade, no Centro de Física, e o seu trabalho está focado no desenvolvimento de compósitos poliméricos avançados e novos materiais para aplicações de armazenamento de energia, incluindo baterias de íões de lítio e baterias impressas.



Senentxu Lanceros-Méndez. é professor Ikerbasque e Director Científico no BCMaterials, Centro Basco de Materiais, Aplicações e Nanoestruturas, Derio, Espanha. É Professor Associado do Departamento de Física da Universidade do Minho, Portugal (em licença), onde pertence ao Centro de Física. O seu trabalho está focado na área de materiais inteligentes e funcionais para sensores e atuadores, energia e aplicações biomédicas.

A História da Indução Eletromagnética como Recurso Didático

Albino Rafael Pinto¹, Carlos Saraiva²

¹ Agrupamento de Escolas da Lixa, Felgueiras; albinorafaelpinto@gmail.com

² Agrupamento de Escolas de Trancoso; carlos.saraiva1@gmail.com

Resumo

Neste artigo, são recriadas experiências históricas de indução eletromagnética, feitas com material muito simples, e que podem servir como recurso didático para os professores explorarem na sala de aula. São também sugeridas algumas atividades que podem ser desenvolvidas com os alunos.

Introdução

A atração entre um íman e um objeto de ferro ou aço é um fenómeno bem conhecido do dia a dia. No entanto, se o objeto for, por exemplo, de alumínio ou cobre não é tão evidente essa interação e muitas vezes não é perceptível. Em 1824, Arago descobriu que é possível haver uma interação entre um íman e objetos de cobre desde que haja movimento relativo entre eles! Esse novo fenómeno totalmente inesperado, descoberto de maneira fortuita, intrigou diversos cientistas e permaneceu sem uma explicação durante vários anos.

A história da ciência pode ajudar a fomentar a aprendizagem de conhecimentos científicos e contribuir para desenvolver o interesse dos alunos por esta área. As estratégias usadas poderão ser: a análise de artigos originais, o uso de biografias e a realização de experiências históricas. A história da ciência permite que os alunos compreendam que o conhecimento científico não é estático e que as teorias são substituídas por outras que melhor explicam os fenómenos.

Neste artigo, são apresentadas experiências que tiveram um papel importante na história da indução eletromagnética e, usando material muito acessível, são propostas recriações dessas experiências originais.

Material necessário

Lápis, plasticina, forma de alumínio (usadas em culinária como bases para bolos) e um íman de neodímio-ferro-boro.

Experiência de Babbage e Herschel

Em 1824, Dominique Arago (1786-1853), físico francês, observou um fenómeno que, na altura, era designado por “magnetismo de rotação” ou “magnetismo por movimento”. No trabalho publicado nos “Annales de Chimie et Physique”, este físico descreve a experiência realizada. Arago imprimiu movimento de rotação a um disco de cobre e verificou a rotação de uma agulha magnética que estava colocada próxima do disco.

Esta experiência foi repetida por Charles Babbage (1791-1871) e Jonh Herschel (1792-1871) que verificaram também o efeito inverso. Estes cientistas descrevem que ao rodar um íman por baixo de um disco de cobre, que estava suspenso num suporte vertical, o íman provocava a rotação do disco.

Para recriar esta experiência, usámos um pedaço de plasticina para fixar o lápis na posição vertical, com o bico bem afiado e voltado para cima. Colocámos a forma, por cima do bico, centrada de modo que possa rodar no plano horizontal. Depois, rodámos um íman no plano horizontal por cima da forma (Fig. 1).

Ao movimentar o íman, segundo o princípio da indução eletromagnética (lei de Faraday), induz-se uma corrente na forma. Por sua vez, de acordo com a lei de Lenz, a corrente induzida na forma gera um campo magnético que tende a opor-se à variação do fluxo produzido pelo campo magnético do íman. Assim, a forma vai girar no sentido do movimento do íman. Na figura 2, pode ver-se uma ilustração, retirada do livro “Traité Élémentaire de Physique”, que se refere a esta experiência.

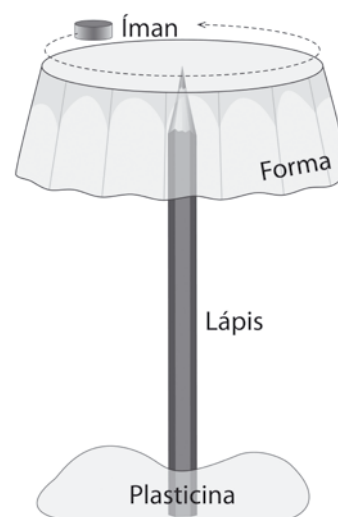


Figura 1 - Movimento da forma.

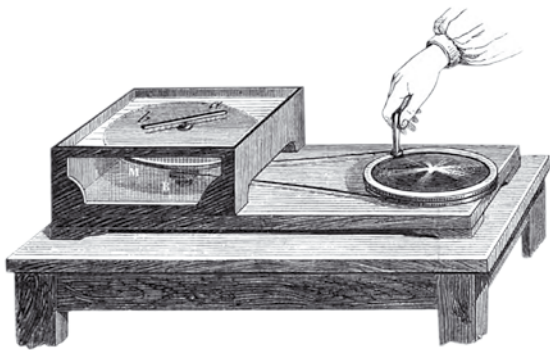


Figura 2 - Experiência de Arago (*Traité Élémentaire de Physique* de A. Ganot).

Experiência de Foucault

No ano de 1855, Léon Foucault (1819-1868) descobre que massas metálicas sujeitas a um campo magnético podem dar origem à dissipação de calor. Nesta experiência, Foucault colocou um disco de cobre a rodar entre os polos de um eletroímã. Quando o eletroímã estava desligado, o disco rodava praticamente sem atrito. Ao ligar o eletroímã eram induzidas correntes no disco de cobre que o travavam. Rodando uma manivela, para movimentar o disco, com o eletroímã ligado, as correntes induzidas davam origem à libertação de energia sob a forma de calor. Estas correntes induzidas que ocorrem em condutores metálicos são geralmente conhecidas por correntes de Foucault.

Para recriar esta experiência, montámos o mesmo dispositivo, mas agora imprimimos um ligeiro movimento de rotação à forma. Ao aproximar o ímã da forma, observa-se que esta sofre travagem. O ímã pode ser aproximado da superfície horizontal (A) ou da superfície (B) tal como mostra a figura 3. O efeito de travagem pode ser recriado, mas a dissipação de energia sob a forma de calor não pode ser observada, devido à pequena velocidade de rotação. As correntes induzidas pelo ímã na forma em movimento

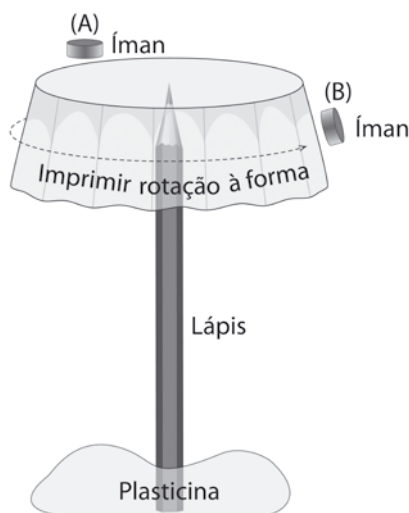


Figura 3 - Travagem da forma.

(lei de Faraday) obedecem à lei de Lenz e são responsáveis pela travagem.

Em vez do ímã, poder-se-ia usar um eletroímã, tal como foi feito na experiência original. Na figura 4, pode ver-se uma ilustração, retirada do livro “*Traité Élémentaire de Physique*”, que se refere a esta experiência.

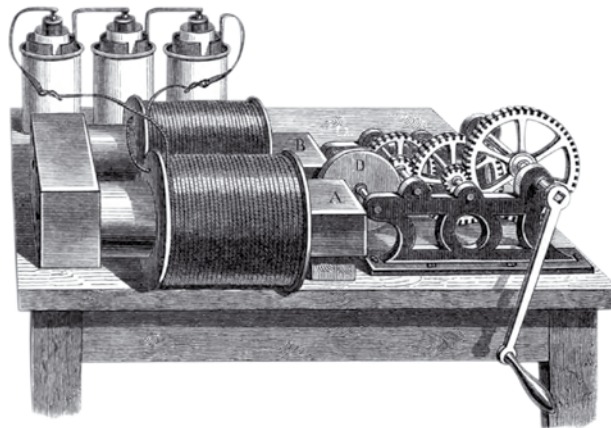


Figura 4 - Experiência de Foucault (*Traité Élémentaire de Physique* de A. Ganot).

Sugestões de atividades

Pode-se sugerir aos alunos a pesquisa de informações sobre aplicações tecnológicas relacionadas com as experiências descritas (fogões de indução, velocímetros, motores de indução, travagem de peças metálicas, máquinas de venda e análise de peças metálicas em ensaios não destrutivos).

Estas experiências podem ser usadas para o estudo da indução eletromagnética e para explicar os fenómenos observados com base nas leis de Faraday e de Lenz.

Conclusões

Há excelentes demonstrações das correntes induzidas em massas metálicas onde são aplicadas as leis de Faraday e de Lenz. Além da riqueza pedagógica das experiências apresentadas, estas são fáceis de realizar, de custo praticamente nulo e podem ser manuseadas pelos alunos. Permitem, também, que eles façam a ponte entre a teoria estudada na sala de aula e as suas aplicações práticas, tornando, deste modo, o ensino menos abstrato e mais motivador.

Além disso, este artigo visa divulgar um fenómeno, na altura designado por “Magnetismo de rotação”, que intrigou os cientistas da época e que permaneceu sem explicação durante vários anos. Em 1831, Faraday explicou o fenómeno da indução eletromagnética. Pensamos que deste modo se dá uma ideia mais correta aos alunos da metodologia da ciência, ao reconhecerem que a indução eletromagnética se deve ao contributo de vários cientistas e que as teorias e os conceitos tiveram que ser construídos.

Fizemos um vídeo com as experiências recriadas que pode ser consultado no youtube no endereço <https://youtu.be/hChCRLypzqE>

Bibliografia

- [1] Babbage, C. e Herschel, J., *Account of the repetition of M. Arago's experiments on the magnetism manifested by various substances during the act of rotation. Philosophical Transactions of the Royal Society*, London, v. 115, p. 467-497, June, 1825.
- [2] Faraday, M., *Experimental Researches in Electricity. Philosophical Transactions of the Royal Society*, London, v. 122, p. 125-162, 1832.
- [3] Foucault, M. L., *De la chaleur produite par l'influence de l'aimant sur les corps en mouvement, Comptes Rendus hebdomadaires des Séances de l'Académie des Sciences*, Paris, v. 41, p. 450-452, 1855.
- [4] A. Ganot, *Traité Élémentaire de Physique*, páginas 823 e 863, Paris, 1871.
- [5] Arago F. *Annales de Chimie et de Physique*, Vol. 27, p. 363 (1824); Vol. 28, pp. 325-326 (1825) e Vol. 32, pp. 213-223 (1826).
- [6] *Annales de Chimie et de Physique*, Vol. 27, p. 363 (1824); Vol. 28, pp. 325-326 (1825) e Vol. 32, pp. 213-223 (1826).
- [7] Dias de Deus, J. *et al. Introdução à Física*, 2.^a Edição, McGraw-Hill, Lisboa, 2000.
- [8] Carlos Saraiva, Isabel Malaquias e Manuel Almeida Valente, "O eletromagnetismo nos manuais de física liceais entre 1855 e 1974", *Gazeta de Física*, Fascículo 2, pp. 36-42, julho, 2007.
- [9] Carlos Saraiva, Demonstrating lenz's law with recycled materials, *The Physics Teacher*, Vol. 44, Nº 3, pp. 182-183, March 2006.

Vídeo com as experiências recriadas: <https://youtu.be/hChCR-LypzqE>



Albino Rafael Mesquita Pinto, é professor no Agrupamento de Escolas da Lixa, Felgueiras, Licenciado em Física pela Universidade da Beira Interior e Mestre em Física pela Universidade do Minho. Desenvolve simulações utilizando ferramentas computacionais de acesso gratuito. É autor do blog: <http://fisicanalixa.blogspot.com/>



Carlos Alberto Alexandre Saraiva, é Licenciado em Física pela Universidade de Coimbra, Mestre em Ensino de Física e Química pela Universidade de Aveiro e professor no Agrupamento de Escolas de Trancoso.

Os autores deste artigo são coautores de vários artigos publicados na *Gazeta de Física*, de simulações e recursos digitais premiados pela Casa das Ciências. São embaixadores em Portugal da aplicação *phyphox* que é uma referência mundial.

Giorgio Parisi e três (bons) conselhos

Carlos Herdeiro

Departamento de Matemática, Universidade de Aveiro



Giorgio Parisi (1948-...), que recebeu metade do Nobel da Física de 2021 “*pela descoberta da interação de desordem e flutuações em sistemas físicos de escalas atômicas a planetárias*”, tem sido um físico teórico extraordinariamente prolífico. É autor de centenas de publicações (mais de uma centena sem co-autores) e com um impacto científico de todo invulgar - na plataforma *Google Scholar* são contabilizadas mais de 90 000 citações (!) aos seus trabalhos. Mas destaca-se também pela sua transversalidade científica e personalidade que angaria estima.

Formado pela Universidade de Roma, La Sapienza, Parisi começou a sua carreira científica como físico de partículas. Terminado o seu doutoramento em 1970 (sob a direção de Nicola Cabibbo), na década seguinte deu várias contribuições marcantes nesta área. Escreveu, por exemplo, em 1978, o seu artigo mais citado, que é sobre o modelo de partões (um modelo dos constituintes das partículas hadrónicas, como o próton e o neutrão), da co-autoria de Guido Altarelli. Teria sido certamente possível a Parisi, nesta altura, ter optado por uma carreira (de sucesso!) apenas como físico de partículas, numa altura de grandes desenvolvimentos da física de partículas teórica e experimental. Mas não foi isso que fez; em vez de especializar, diversificou.

Parisi interessou-se por um tipo de sistemas no âmbito da física da matéria condensada - os vidros de spin. Estas ligas metálicas (por exemplo cobre, com impurezas de outro metal, como ferro ou manganês) apresentam, em certas circunstâncias, acoplamentos aleatórios, e consequentemente estados desordenados, para os spins dos átomos individuais, tendo uma fenomenologia rica e desafiante. Os modelos que Parisi desenvolveu para estes sistemas desordenados, adquiriram, no entanto, uma vida própria, transbordando para outros sistemas complexos. Numa entrevista recente ao *El País*, Parisi refletia como “*Até os meus primeiros estudos nos vidros de spin e depois nas redes neuronais, anos depois, tiveram aplicações muito importantes na inteligência artificial.*” Numa reflexão complementar sobre o seu percurso, Parisi dizia, numa outra entrevista recente “*A ciência orientada pela curiosidade é algo que às vezes recebe aplicações completamente inesperadas.*”

Parisi é um físico curioso e a curiosidade é fundamental para diversificar o foco das investigações, mas não chega. Como Parisi acrescenta na entrevista ao *El País* é também necessário método: “*O problema não é abrir-se a outros campos. Se quiser trabalhar em imunologia, antes tem que estudar os livros de imunologia, ou ter ao lado um bom imunologista que lhe explique as coisas essenciais. É importante ter a vontade de investir seu tempo livre para estudar coisas novas.*” Foi a curiosidade, mas também o método e a dedicação, que fez Parisi transbordar para além da física de partículas. E depois, quando a ciência tem qualidade, ganha uma vida própria, transborda as áreas originais e aparece no inesperado. E assim frequentemente a ciência fundamental desmultiplica-se não apenas em problemas académicos mas em aplicações. Este é um grande conselho de Parisi, pelo seu exemplo, para os jovens cientistas: curiosidade e diversificação, em cima, claro, de dedicação.

Mas para além da curiosidade, como antídoto à tentação da repetição no processo científico, há um outro ingrediente fundamental na base desse processo. Na entrevista que concedeu ao gabinete de divulgação do Prémio Nobel, após o anúncio do prémio, ao repto “*E este prémio realmente destaca a importância da ciência fundamental por*

trás da compreensão das mudanças climáticas...” Parisi acrescenta “Sim, está correto, porque a ciência fundamental é crucial. É crucial para entender tudo...”

Vivemos num tempo em que o “negacionismo”, isto é, a escolha de negar conceitos básicos, empiricamente verificáveis, usando o método científico e que angariaram o consenso científico, entrou na agenda. No extremo do ridículo, alguns negacionistas desafiam a amplamente comprovada e documentada esfericidade da Terra. Num registo mais perigoso, uma mediática corrente de negacionistas tem desafiado a importância da vacinação covid, branqueando o impacto histórico da vacinação (varíola! poliomielite! sarampo! difteria e tétano!...). Num registo igualmente perigoso, mas um pouco mais subtil, nega o impacto humano no clima da Terra e o seu potencial desastroso. Mas existe uma outra camada de negacionismo, e que se esconde dentro do próprio sistema dirigente e por vezes dentro do próprio sistema científico (!): a negação da importância de áreas científicas inteiras de ciência fundamental, subalternizando-a às promessas (tantas vezes vãs) de aplicações impactantes ao virar da esquina. Este negacionismo, normalmente resultante em cortes de financiamento, é uma das maiores auto-mutilações um sistema científico se pode auto-infligir. Pois bem, resulta do discurso e exemplo de Parisi um segundo conselho, agora para o dirigismo científico: que não se negue a importância da (boa) ciência fundamental, mesmo que desprovida de aplicações imediatas.

Mas para além de um cientista no seu verdadeiro sentido, Parisi tem sido um ativista em causas humanistas e preocupações sociais. Ainda assim fá-lo com a elegância de quem defende causas maiores e valores positivos, angariando simpatia e não ódio. A esse propósito, ao terminar uma das suas entrevistas, Parisi foi confrontado com a pergunta “O senhor é um dos físicos mais citados do mundo, colaborou com mais de 300 pessoas, e os seus alunos adoram-no. Qual é o truque para ter tanto carinho?” A resposta de Parisi é um grande conselho para quem educa e orienta: “Tentar prestar atenção aos seus colaboradores e colocar-se na sua pele, por um lado, e guiá-los, mas sem ficar muito por cima. Todos têm que aprender com os seus próprios erros. Corrigir muito não é bom: cada um deve aprender a ser autónomo e, quando necessário, saber dar uma mão. Mas isso só quando as dificuldades são relevantes.”

Um bem haja pela ciência, Giorgio Parisi.

Livros



José Braga

«Ciência, Tecnologia e Medicina na Construção de Portugal»,

Tinta da China, 2021, 4 volumes, coordenação geral de Ana Simões e Maria Paula Diogo.

ISBN 978-989-671-596-0

Esta obra em 4 volumes dá uma visão da importância que as ciências, tecnologia e medicina tiveram na construção de Portugal. Dá visibilidade à História da Ciência, compila estudos sobre a área, tornando-os acessíveis ao público em geral, e atenua o alheamento que a História dá ao papel da ciência tecnologia e medicina na História nacional.

Reúne 86 estudos de 81 autores sob coordenação geral de Ana Simões, professora catedrática de História das Ciências na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, tendo sido presidente da Sociedade Europeia para a História da Ciência, e Maria Paula Diogo, professora catedrática de História da Tecnologia e Engenharia na Nova *School of Science and Technology* que já foi galardoada com a medalha Leonardo da Vinci da Sociedade para a História da Tecnologia.

No volume 1, «Novos Horizontes: séc. XV-XVII», transmitem-se as linhas de força que nortearam o desenvolvimento das ciências em Portugal e principais preocupações e temáticas que mereceram mais atenção por parte dos historiadores. Defende-se que o peso que a ciência moderna adquiriu na História das Ciências em Portugal está ligado ao lugar cimeiro que o saber prático possuiu nos estágios iniciais de construção do império português. A exploração de novos territórios originou práticas científicas inovadoras, novos conhecimentos e novos espaços de conhecimento. É no campo dos problemas práticos da expansão que primeiro se encontram sinais de modernidade, a «*early modern science*».

Esta ideia é bem sintetizada num capítulo mais historiográfico por António Sanchez e Henrique Leitão,

«O Mundo Ibérico e a Ciência Moderna: uma Mudança de Narrativa». Os autores demonstram como no século XX ocorreu uma anglicização progressiva do discurso em História da Ciência focando-se nos acontecimentos ocorridos na Reino Unido e Europa central, uma redução temática e valorização nacionalista quanto ao surgimento da ciência moderna, visão que deve ser discutida.

Os historiadores das ciências já perceberam que existem elementos sociais, económicos e institucionais a ser tidos em conta, não se preocupando apenas com as ideias, método e teorias científicas, mas também as condições em que a ciência é criada, as instituições, comunidades, espaços, objetos e práticas, surgindo uma história polifónica.

A ciência ibérica está ligada à formação de uma nova imagem do mundo, fundação de rotas marítimas, criação de novas economias mundiais e a mobilização de novas formas de organização profissional. O elo entre a ciência ibérica e a modernidade estabelece-se no desenvolvimento de tecnologias náuticas, contacto com a novidade, a existência de um certo experimentalismo e o surgimento de uma nova mentalidade baseada na aquisição de conhecimentos por meio da experiência.

Com efeito, a construção de conhecimento sobre o mundo natural aconteceu em grande escala no século XVI. Surgiram movimentos de recolha e gestão de informação sobre o mundo natural e novas instituições; nestas dinâmicas participaram várias classes sociais. Também ocorreu a renegociação de formas de autoridade sobre o conhecimento da natureza. Surgiram novos profissionais, procedimentos e artefactos. Estas atitudes serviram de modelo para outros países, surgindo uma nova maneira de fazer ciência.

No segundo volume, «Razão e Progresso: Séc. XVIII», ex-

ploram-se os trânsitos das ciências, tecnologia e medicina no império setecentista português, identificando atores, grupos e redes. O Iluminismo tem relevância por tratar-se de um período histórico em que algumas propostas filosóficas, políticas e culturais são ainda assumidas como herança. É o caso da secularização que trouxe a autonomia da razão crítica a todos os domínios do conhecimento. As ciências passaram a ser encaradas como processos cultural, ideológica e socialmente marcados. Forçaram a entrada de práticas experimentais na academia, surgiram novas áreas disciplinares (eletricidade, química). Os cientistas corporizaram uma nova elite de aconselhamento à governança.

Em Portugal, este período deve a sua especificidade ao facto de se tratar de um país católico, de posição periférica face à Europa, mas com uma centralidade colonial. O mecenato e centralização da coroa absolutista foi fundamental, tal como os estrangeirados, articulando-se com um discurso tecnocientífico novo, vinculado a programas de modernização assentes numa visão utilitária das novas ciências, agenda modernizadora mais visível no período pombalino.

Estas características notam-se no capítulo «Astronomia, Cartografia e Demarcação de Fronteiras» por Luís Tirapicos. A descoberta de minas de ouro no Brasil no século XVII, tornou premente o conhecimento geográfico desse território,

particularmente a demarcação de fronteiras. A coroa solicitou à companhia de Jesus matemáticos qualificados e pretendia recolher informações com a finalidade de organizar a administração do território recorrendo a novos instrumentos e práticas científicas (a astronomia de precisão). A rede diplomática foi mobilizada para recrutar matemáticos e geógrafos e encomendar os melhores instrumentos. Os critérios de recrutamento de especialistas nas comissões de demarcação eram políticos, científicos e religiosos. O desconhecimento dos territórios deixou espaço para a negociação política entre os representantes das coroas ibéricas. A reforma da universidade de Coimbra e a criação da Academia das Ciências permitiram um enquadramento institucional novo à realização de expedições científicas, usando agora técnicos portugueses formados em Coimbra. (continua)



«Relatividade restrita»

Edições Silabo, 2021, Luís Rodrigues Costa

ISBN 978-989-561-193-5

Paulo Crawford

Professor agregado aposentado da FCUL e investigador do Instituto de Astrofísica e Ciências do Espaço da UL.

“Relatividade Restrita, Crónica de uma visita guiada”, editado pelas Edições Silabo, e da autoria do Luís Rodrigues da Costa, engenheiro de Minas (IST), Quadro Superior do Ministério da Economia, aposentado.

Logo na capa, e como subtítulo, o autor esclarece que se trata de “Um diálogo entre amigos sobre Encontros no Espaço e no Tempo e no Espaço-Tempo”. Em suma, trata-se

de um livro que descreve como um grupo de amigos se decidem reunir para estudar e compreender a teoria da relatividade restrita de Einstein, ou seja, a sua eletrodinâmica dos corpos em movimento, aqui apresentada por um deles, o Tomás, na sua qualidade de professor universitário de história da ciência.

Na apresentação do livro, o autor sustenta que o seu texto é, fundamentalmente, uma reflexão pessoal sobre múltiplos aspetos da teoria restrita

da relatividade, cujo domínio de aplicação se reduz aos fenómenos que ocorrem em referenciais em movimento uniforme, ou seja, com velocidade constante em módulo e direcção, observados por observadores inerciais. E acrescenta que se trata de uma tentativa para mostrar a continuidade do pensamento galileano sobre o movimento, e como a sua ideia de inércia se vai modificando, desde a sua formulação até à atualidade embora mantendo o seu conteúdo inicial.

Ora, sabemos que Isaac Newton, aí por volta de 1687, propôs um novo enquadramento para descrever todas as leis da física que descrevem o universo, que se manteve válido durante mais de 200 anos, baseado nos conceitos de espaço absoluto e tempo absoluto e nas forças e suas correspondentes acelerações. Porém, em 1905, Einstein deu-nos um novo quadro para a descrição das leis da física, que já dura há cerca de 117 anos, ao qual deu o nome de Princípio da Relatividade, segundo o qual, as leis da física devem ser as mesmas em todos os laboratórios, ou referenciais, que se movem livremente no universo, mas com velocidades constantes. Não foi fácil a aceitação destes novos conceitos. Por exemplo, Willy Wien e mesmo Max Planck tiveram alguma dificuldade em aceitarem o postulado de Einstein da constância da velocidade da luz, que segundo eles parecia contradizer o princípio da relatividade. Mas é pois já neste novo enquadramento da teoria da relatividade restrita que o autor do livro, referido acima, vai apresentar as ideias de Einstein discutidas por este grupo de jovens, sob a liderança de Tomás, o professor de história da ciência.

Na sua apresentação da teoria, Tomás procura seguir uma descrição geométrica na linha daquela que foi iniciada, por volta de 1907, por Hermann Minkowski, antigo professor de Einstein no Instituto Federal de Tecnologia, ETH.

Ora, o texto de Einstein sobre a sua eletrodinâmica dos corpos em movimento, já referido atrás, introduz pela primeira vez a teoria posteriormente designada por Relatividade Restrita ou Relatividade Especial, para a distinguir da Relatividade Geral, obtida mais tarde, a 25 de Novembro de 1915, ao fim de um longo percurso iniciado por volta de 1907 e 1908, para a qual Einstein teve a colaboração do seu grande amigo e colega, dos tempos da faculdade, Marcel Grossman. Note-se, porém, que Grossman fez questão de só tratar dos temas especificamente matemáticos deixando os aspectos físicos ao critério de Einstein. Mas como ficou claro desde o início deste texto, o livro em análise trata unicamente das questões relacionadas com a teoria restrita, onde os diferentes observadores, que se deslocam com diferentes velocidades constantes, observam a dilatação dos tempos e a contração dos comprimentos, que são as conse-

quências observados no contexto da nova teoria da Relatividade Restrita.

Em suma, o livro em análise faz uma descrição muito luminosa, sendo uma exposição com claras preocupações pedagógicas, extremamente acessível na descrição dos efeitos previstos pela teoria da Relatividade Restrita, obtida em 1905. Daí advém o facto de alguns autores designarem 1905 como o ano miraculoso de Albert Einstein, durante o qual ele fez várias outras descobertas que mudaram a face da Física, como foi o caso do artigo onde Einstein introduz o quanta de luz, mais tarde designado por fóton, por sugestão do químico-físico americano Gilbert Newton Lewis, num artigo enviado para a revista *Nature* em 1926. Aliás, acrescenta-se, de passagem, que foi este último artigo que levou a comissão do Prémio Nobel a atribuir em 1922, o prémio Nobel da Física referente a 1921, a Albert Einstein, que por sinal nunca foi premiado pela gigantesca obra representada pela criação das teorias da Relatividade Restrita e da Relatividade Geral, ainda hoje utilizadas para descrever o Universo em que vivemos. Na verdade, devemos reconhecer que as ideias relativistas de Einstein foram dificilmente apreendidas na época em que foram produzidas. Só bastante mais tarde a comunidade dos físicos integrou na sua prática os novos resultados obtidos por Einstein, pois que algumas das suas previsões foram efetivamente observadas experimentalmente muito tarde, como foi o caso do “peso aparente dos fótons”, no qual se descreve a primeira medida laboratorial bem-sucedida da mudança de frequência da luz por influência do campo gravitacional da Terra. Essa mudança de frequência foi verificada por Robert V. Pound e Glenn A. Rebka, usando a torre de 22,6 m de altura do Laboratório de Física de Jefferson, na Universidade de Harvard. A confirmação experimental dessa mudança de frequência pode ser descrita admitindo dois átomos idênticos, A e B, que se encontram em repouso a diferentes altitudes num certo campo gravítico. O átomo A, que se encontra na base de um edifício, onde o campo gravítico é mais intenso, emite uma luz cuja frequência apresenta um deslocamento para o vermelho, na direcção de um observador colocado a maior altitude junto do átomo B, no ponto mais alto da torre do laboratório, observando-se uma mudança de frequência no sentido dos maiores comprimentos de onda. Em resumo, onde o campo gravítico é mais intenso os relógios atrasam-se relativamente aos pontos onde a gravidade é menor. Em resumo, os relógios colocados nos locais onde o campo gravitacional é maior atrasam-se relativamente aos relógios colocados nos pontos onde a gravidade é menor. Por vezes, resumimos este facto falando no peso aparente dos fótons.

O que são materiais “frustrados”?

Constança Providência

CFisUC, Departamento de Física, Universidade de Coimbra

Material

- um ímã
- agulha grossa
- prato com água
- rolo e fita-cola
- papel e caneta
- tesoura
- pioneses
- cortiça ou esferovite

Magnetismo

Imagina que gostarias muito de ter uma bicicleta e um *skate* mas tens de optar por apenas um deles. Ficas indeciso entre os dois, e acabas por escolher a bicicleta mas sentes-te frustrado por não poderes ter um *skate*. Depois tens uma ideia: combinas com a tua irmã que ela escolhe o *skate* e, assim, podem alternadamente usar a bicicleta ou o *skate*. Pois, certos materiais por vezes têm de fazer opções difíceis não ficando totalmente satisfeitos com a escolha feita. Dizemos que estes materiais estão frustrados. Mas o que são mesmo materiais frustrados?

Alguns físicos dedicam-se a descobrir materiais com propriedades interessantes que nos permitam construir novos aparelhos ou melhorar os que temos, como os computadores quânticos.

Em 2021, o Prémio Nobel da Física foi atribuído a três cientistas que têm dedicado os seus trabalhos à compreensão de sistemas complexos. O físico italiano Giorgio Parisi foi um dos galardoados, justamente pelos seus estudos sobre as propriedades destes materiais complexos, isto é, materiais que não se conseguem organizar, como poderia ser mais favorável.

Sabes, certamente, que alguns materiais têm propriedades magnéticas como os ímãs que colas na porta do teu frigorífico. A agulha de uma bússola é outro exemplo. Experimenta fazer uma bússola. Precisas de uma agulha grossa sem ponta afiada, uma fatia de um rolo de cortiça ou um bocado de uma embalagem de esferovite e fita-cola. Cola a agulha à cortiça e coloca-a a boiar num prato com água, ver figura 1. Verifica que a agulha aponta na direção em que a colocas.

Agora faz o seguinte: tira a agulha da água, seca-a, e passa um ímã da cabeça para a ponta da agulha

cerca de 40 vezes. Tem cuidado em fazer o movimento correto, sempre da cabeça para a ponta. Volta a colocar a agulha na água. Consegues colocá-la na direção que queres ou ela escolhe a direção?

Acabaste de construir uma bússola: a agulha aponta aproximadamente na direção do Norte. A Terra funciona como um grande ímã e atrai a agulha da bússola que construístes.

Mas porque é que conseguiste transformar a agulha num ímã? É porque a agulha é feita de ferro, um metal com propriedades magnéticas. Cada partícula de ferro comporta-se como um pequeno ímã. Só consegues observar as propriedades magnéticas do ferro se todos estes pequenos ímãs que o formam tiverem a mesma orientação. Quando esfregas o ímã na agulha obrigas todos os pequenos ímãs a ficarem orientados na mesma direção e a agulha passa a comportar-se como um ímã!

Um desenho permite perceber facilmente o que se passa. As partículas de ferro estão colocadas nos vértices de uma rede quadrangular como a vês na Figura 2. Dizemos que é quadrangular porque a rede é feita de quadrados. As partículas de ferro localizam-se nos vértices dos quadrados.

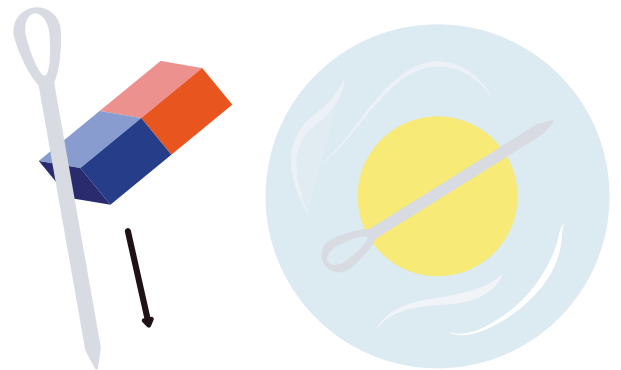


Figura 1 - Construção de uma bússola.

Vamos representar cada partícula de ferro por uma seta, como se fosse um pequeno ímã. A Figura 2 (centro) representa o material da

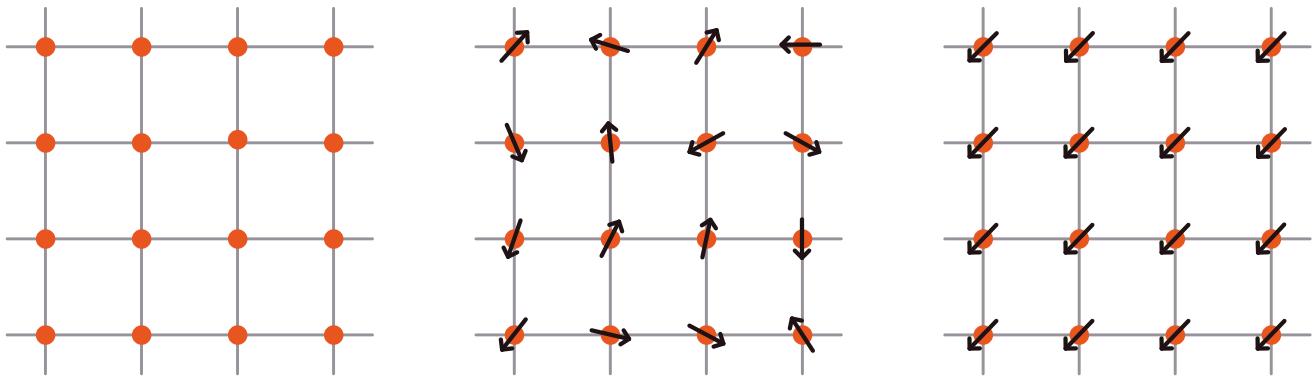


Figura 2 - Rede quadrangular (esquerda): orientação das partículas da agulha antes de se passar o magnete (centro) e depois de se passar o magnete (direita)

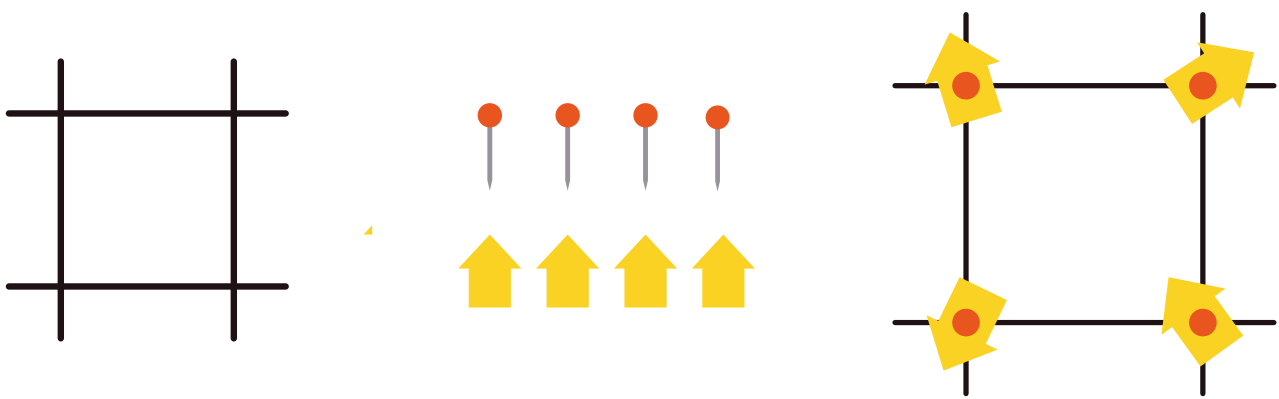


Figura 3 - Material para construir um modelo (esquerda) e modelo de material não orientado (direita)

agulha antes de teres passado o magnete: as setas apontam em qualquer direção. Depois de passares o magnete, o material da agulha passa a ter a maior parte das partículas de ferro orientadas na mesma direção como na Figura 2 (direita).

Faz o teu modelo do ferro. Precisas de uma placa de cortiça ou esferovite, quatro pioneses, papel e uma tesoura. Corta quatro setas que vão representar as partículas de ferro. Coloca em cima da placa de cortiça uma folha de papel e desenha um elemento da rede quadrangular como mostra a Figura 3. Prende aos vértices do quadrado as setas com pioneses. Orienta as setas de modo a representares o material antes de passar o magnete e depois de passar o magnete.

No ferro, as partículas preferem ficar todas a apontar na mesma direção. Mas há materiais em que as partículas preferem que os vizinhos apontem no sentido oposto como o crómio, que, tal como o ferro, também é um metal. Neste metal, as partículas orientam-se de modo que a vizinha aponta no sentido oposto como na Figura 4. Usa o teu modelo para representares o crómio, tendo o cuidado de colocar as setas vizinhas a apontar em sentidos opostos.

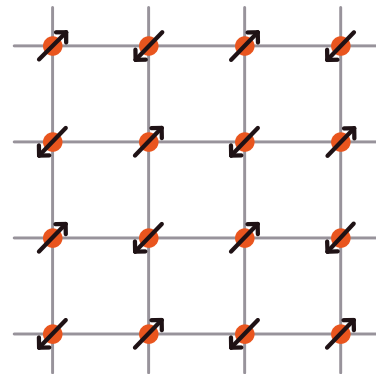


Figura 4 - Representação da rede do crómio.

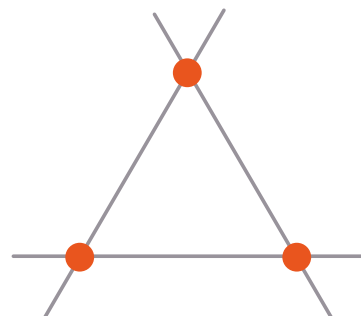


Figura 5 - Rede triangular.

Repete o exercício mas supondo um material do tipo do crómio: a orientação preferida da vizinha é a oposta. Vês algum problema?

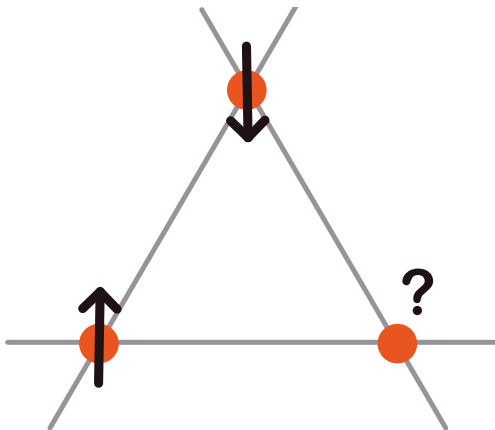


Figura 6 - Rede triangular de uma material que se orienta como o crómio.

Usa o teu modelo com uma rede triangular e setas presas aos vértices com pioneses. Qual será uma possível orientação das setas de modo a minimizar o problema da orientação? Chamamos frustração à existência destas situações de conflito, nas quais as partículas não conseguem orientar-se como gostariam: na rede triangular uma das setas tem um vizinho com a orientação oposta e outro com a mesma orientação. Não consegue encontrar uma solução em que ambos os vizinhos têm a orientação oposta sem afetar as outras partículas da rede. Há várias possibilidades que minimizam de um modo equivalente estas situações de conflito: nestas configurações cada uma das setas roda um pouco relativamente à situação ideal. A combinação destas diferentes posições dá origem a estruturas muito complexas.

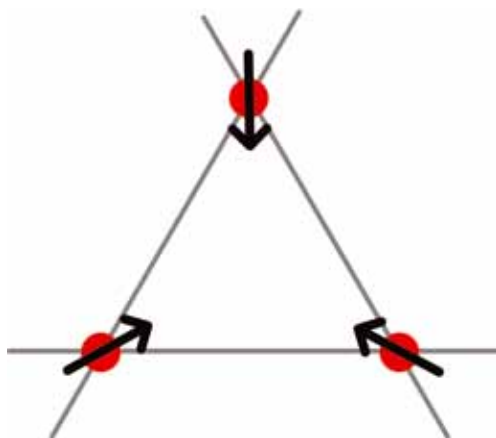


Figura 7 - Orientação possível de uma rede triangular frustrada.

Como desafio, deixo-te a estrutura de um material representado na Figura 8, onde identificas estrelas de seis pontas. Sabendo que as partículas desse material gostam de se orientar de modo que os vizinhos apontam em direções opostas, que proposta fazes para uma possível orientação das partículas na rede representada?

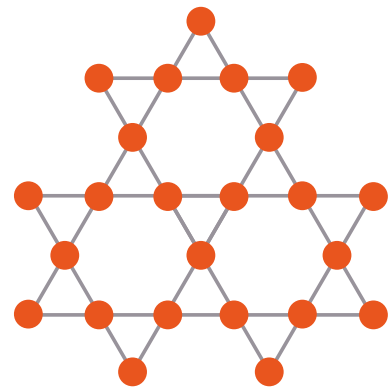


Figura 8 - Rede triangular de uma material que se orienta como o crómio.

Agradecimentos

Agradeço à Rita Wolters os desenhos todos da sua autoria. Agradeço à Lucília Brito os comentários sempre tão pertinentes.

Bibliografia

- [1] Ciência a brincar, Constança Providência, Helena Alberto, Carlos Fiolhais, Editorial Bizâncio, 1999.
- [2] Ciência a brincar, Constança Providência, Helena Alberto, Carlos Fiolhais, Editorial Bizâncio, 1999.

notícias

Aconteceu

Prémio de Física Real Sociedad Española de Física - Fundación BBVA atribuído a Manuel Joaquim Baptista Fiolhais e José Rogério dos Prazeres Nogueira, sócios da SPF



A Real Sociedade Espanhola de Física (RSEF) atribuiu, em 2021, o prémio de Física RSEF – Fundación BBVA, aos professores Manuel Fiolhais, professor catedrático da Universidade de Coimbra e Rogério Nogueira, professor de Física e Química da Escola Secundária Eng. Acácio Calazans Duarte.

mios são atribuídos anualmente. A cerimónia de entrega, de 2021, decorreu no passado dia 14 do mês de dezembro, em Madrid, Espanha. O artigo pode ser encontrado em: Revista Española de Física, vol. 34, pp 30-33 (2020). Para mais informação, consultar:

Nota de imprensa

<https://www.fbbva.es/noticias/los-premios-de-la-fisica-espanola-reivindican-el-valor-de-esta-ciencia-para-impulsar-el-conocimiento-que-sirve-de-base-para-las-tecnologias-transformadoras-del-futuro/>

Perfil dos premiados no site da Fundação BBVA

<https://www.fbbva.es/galardonados/manuel-j-baptista-fiolhais-y-jose-rogerio-dos-prazeres-nogueira/>

Vídeo sobre os premiados em 2021

<https://www.youtube.com/watch?v=tyYadRFxGTo>

O prémio foi atribuído pelo artigo “Sistema mecánico con un potencial catastrófico”, publicado na Revista Española de Física, considerado a “Melhor Contribuição Didática nas publicações da RSEF”.

Os prémios da Real Sociedade Espanhola de Física-Fundação BBVA destinam-se a reconhecer o esforço, a criatividade e as realizações no campo da Física, tendo como objetivo servir de estímulo aos profissionais que desenvolvem o seu trabalho tanto na investigação como nas áreas do ensino secundário e universitário, inovação, tecnologia e divulgação. Criados em 2008, os pré-



Faleceu João da Providência Santarém e Costa, professor catedrático da Universidade de Coimbra, sócio honorário da SPF

É com enorme pesar que a Direção da Sociedade Portuguesa de Física comunica o falecimento do Professor João da Providência e expressamos, em nome da SPF, as mais sentidas condolências à família e aos seus colegas e amigos.



1933-2021

Em memória de João da Providência

Carlos Fiolhais

Departamento de Física, Universidade de Coimbra

O Prof. João da Providência Santarém e Costa, falecido em 9 de Novembro de 2021, teve uma vida de dedicação plena à academia desde que se formou em Ciências Físico-Químicas, em 1954, na Universidade de Coimbra (UC), até que aí se jubilou em 2003. Tornou-se professor catedrático da UC em 1972, tendo em várias ocasiões sido responsável pelo Departamento de Física.

Investigou em várias áreas da Física Teórica e da Matemática, brilhando principalmente em Física Nuclear e de Partículas. Criou a Escola de Física Teórica de Coimbra, ao fundar o Centro de Física Teórica da UC, que se integrou no Centro de Física da UC. Formou vários doutores no país num tempo em que a pós-graduação era bem mais rara do que hoje. Pós-doutorados de vários sítios procuravam o seu grupo. Eu e muitos outros físicos devemos-lhe a formação e o acompanhamento profissional com constante estímulo.

Publicou mais de 400 artigos de Física e Matemática, contendo estudos sobre os mais variados sistemas físicos (núcleos atômicos, átomos, moléculas e sistemas de matéria condensada) e sobre Álgebra Linear. O último *paper*, saído em 2021 na *Physical Review C*, analisa a matéria no interior das estrelas de neutrões. Reconhecido no mundo todo, o seu nome encontra-se em *reviews* e em manuais especializados de física.

João da Providência nasceu no dia 1 de Março de 1933, em Vila Verde (Braga). Em 1955, recém-licenciado, tomou posse como 2.º assistente, além do quadro. Foi enviado pouco depois para Birmingham, a fim de estudar Física Teórica. Doutorou-se primeiro em Física-Matemática pela Universidade de Birmingham (1959), com a tese *Perturbation theory of a finite*

nucleus, e depois em Ciências Físico-Químicas pela UC (1960), com outra tese, abordando ainda as correlações entre os nucleões. O seu supervisor foi o eminente físico britânico Sir Rudolf Peierls, discípulo de Werner Heisenberg, pioneiro da energia atômica e doutor honoris causa pela UC. Regressou doutorado com 26 anos, trazendo para Portugal a teoria quântica aplicada aos núcleos atômicos. Começou logo a publicar na melhores revistas internacionais, como a *Nuclear Physics*. Nessa altura quase não havia computadores, pelo que o trabalho principal era analítico. Nele revelava os seus invulgares dotes matemáticos, para além de uma extraordinária intuição física. Ao longo da sua vida, foi mantendo intenso intercâmbio científico com o exterior. Fez estágios no Instituto Niels Bohr, no MIT, no Brookhaven National Laboratory, e em universidades japonesas. Colaborou com universidades e instituições prestigiadas do Reino Unido, Dinamarca, Alemanha, EUA, Brasil, Japão, etc.

Em 1993, quando fez 60 anos, os seus colegas fizeram-lhe uma festa de homenagem no quadro da Conferência Internacional sobre *Many Body Physics*, cujas actas foram publicadas pela *World Scientific*. Foi distinguido com vários prémios: Boa Esperança (1990), Gulbenkian de Ciência (1992), Oriente (1994) e Estímulo à Excelência (2014). Foi sócio honorário da Sociedade Portuguesa de Física e sócio efectivo da Academia das Ciências de Lisboa. Apesar das honras, foi sempre uma pessoa modesta e reservada. Dois dos seus seis filhos são professores de Física: João Pinheiro da Providência, na Universidade da Beira Interior, e Constança da Providência, na UC. É uma enorme perda não só para a família, mas também para a Física e, mais em geral, para a ciência portuguesa. Ficam os seus trabalhos e os seus discípulos, que o recordarão sempre com gratidão e saudade.



Faleceu Maria Margarida Ramalho Ribeiro da Costa, professora catedrática da Universidade de Coimbra

É com enorme pesar que a Direção da Sociedade Portuguesa de Física comunica o falecimento da Professora Maria Margarida Costa e expressamos, em nome da SPF, as mais sentidas condolências à família e aos seus colegas e amigos.

1945 - 2021



Em memória de Maria Margarida Costa

José António Paixão

Centro de Física da Universidade de Coimbra

Faleceu no dia 8 de dezembro de 2021 a Prof^a. Maria Margarida Ramalho Ribeiro da Costa, professora catedrática jubilada do Departamento de Física da Universidade de Coimbra. Margarida Ramalho nasceu em Coimbra a 28 de Agosto de 1945. Após os estudos liceais, onde mostrou vocação para as Ciências, cursou Ciências Físico-Químicas na Universidade de Coimbra, obtendo o grau de licenciado em 1966 com a classificação de 17 valores, tendo sido contratada de imediato como assistente de investigação no seio do grupo de Física do Estado Sólido liderado pelo saudoso Prof. Luiz Alte da Veiga. No ano seguinte foi contratada como assistente para a carreira académica. É no seio deste grupo que inicia os seus primeiros trabalhos de investigação em cristalografia de raios-X sobre ligas e compostos de metais de transição.

Parte para Inglaterra como bolsista do Instituto de Alta Cultura para realizar os seus trabalhos de doutoramento no prestigiado laboratório Cavendish, em Cambridge, sob a orientação da Doutora Penelope Jane Brown. A sua tese de doutoramento intitulada “A study of charge and spin density in some transition metal aluminium alloys” foi defendida em 1974, tendo obtido o grau de *Doctor of Philosophy* pela Universidade de Cambridge e, um ano mais tarde, o seu reconhecimento ao doutoramento em Física pela Universidade de Coimbra.

No seu trabalho de doutoramento, utilizou as técnicas de difração de raios-X, com as quais já se tinha familiarizado em Coimbra, mas também a difração de neutrões, uma nova técnica, muito poderosa, com sensibilidade ao magnetismo, e com a qual se podem determinar estruturas

magnéticas e mapear a densidade de spin. As experiências com difração de neutrões foram realizadas em Harwell, no campus de Oxford, onde se encontrava o primeiro reator atómico de investigação do Reino Unido, inaugurado em 1946 e que, na década de 70, ainda se mantinha em funcionamento. Era um reator de baixo fluxo, com alguma instrumentação básica para a difração de neutrões com recolha manual de dados. As experiências eram longas, exigindo uma monitorização constante durante semanas a fio, mas foi possível obter dados que permitiram, pela primeira vez na Europa, realizar estudos de densidade de spin usando neutrões polarizados.

De entre os trabalhos que constam sua tese de doutoramento, merecem especial relevância os dedicados à elucidação das estruturas modeladas no crómio puro e dopado, e nas suas ligas e compostos, um assunto que ainda hoje se mantém atual, dada a riqueza do diagrama de fases nestes sistemas.

De regresso a Coimbra, e a par da atividade letiva, continua a colaborar nos trabalhos de investigação sobre os fatores de estabilidade em determinados compostos intermetálicos com “fases sigma” e “fases de Laves”, no seio do grupo de investigação liderado pelo Prof. Luiz Alte da Veiga. A este grupo de investigação tinham-se juntado, entretanto, as colegas Maria José de Almeida, Ana Matos Beja e Lourdes Andrade. A instrumentação para a cristalografia de RX disponível neste laboratório ainda estava limitada a geradores de raios-X sem recolha automática de dados, usando películas fotográficas como detetores, cujo processamento era muito moroso. A situação veio a mudar com a oferta pelo DAAD/GTZ de um difratómetro automático de raios-X, o primeiro do género em Portugal. Era um sistema complexo, comandado por um potente (para a época) computador PDP11/34, que exigia frequentemente a adaptação do software. Nesta fase inicial, foi muito importante o contributo da Prof^a Margarida Ramalho, já que possuía experiência adquirida em Inglaterra e também em França, no Instituto Laue-Langevin, na utilização e programação de difratómetros automáticos.

Manteve sempre o interesse pela difração de neutrões e continuou a colaborar com a sua orientadora de doutoramento PJ Brown quando ela se instalou em França, no recém-criado Instituto Laue-Langevin, o mais potente reator de investigação do mundo, ainda hoje em funcionamento. Chegou a ser corresponsável por um dos instrumentos, numa das suas visitas de longa-duração a este instituto.

Fez provas de agregação em 1981, e após concurso, nomeada professora catedrática da Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade de Coimbra a 12 de junho de 1986.

Na década de 90, abre-se um novo capítulo na sua carreira de investigação. No seio de uma pequena rede de colaborações internacionais, participa, a convite, num projeto europeu que tem por objetivo o desenvolvimento na Europa de uma técnica então emergente nos Estados Unidos, a dispersão magnética de fótons, realizada com

recurso a radiação de sincrotrão e que prometia vir a rivalizar com a difração de neutrões. Durante a vigência deste projeto, participou em várias experiências realizadas nos sincrotrões de Daresbury, Hamburgo e em Brookhaven. Foi um projeto importante, que se traduziu na consolidação desta técnica emergente e que permitiu manter e estender uma rede de colaborações internacionais das quais todo o grupo de investigação em Coimbra beneficiou.

Foi responsável por vários projetos científicos na área da Física da Matéria Condensada, com destaque para os relacionados com os estudos de densidade de carga e de spin em compostos do tipo rutilo e em fases A15, que combinavam medidas muito precisas de difração de raios-X com dados de difração de neutrões. A sua atividade científica encontra-se publicada em periódicos internacionais de grande prestígio. Foi orientadora de quatro estudantes de doutoramento.

Assumindo a liderança da linha 1 do Centro de Estudos da Radiação e dos Materiais na década de 90 e, mais tarde, do Centro de Estudos de Materiais por Difração de Raios-X, a sua ação foi decisiva na captação de financiamento e no reequipamento deste Centro. Assim, em meados da década de 90 são adquiridos novos instrumentos no âmbito do programa Ciência, e no início dos anos 2000, foi possível a atualização do equipamento com a aquisição de um moderno difratómetro equipado com detetor de área. De entre os vários cargos académicos na Universidade de Coimbra destaco a Presidência das Comissões Científica, Pedagógica e Executiva do Departamento de Física, que exerceu em várias instâncias, mas também a coordenação da Comissão de Criação do Departamento de Arquitetura da FCTUC. Também colaborou com a Sociedade Portuguesa de Física, onde assumiu alguns cargos na Delegação Regional.

A professora Margarida Ramalho fez parte dos comités organizador e científico de muitas conferências nacionais e internacionais, e representou Portugal em várias comissões e instituições científicas internacionais. Destaco aqui, pela sua relevância, a representação de Portugal na União Internacional de Cristalografia, por um extenso período temporal, e o seu papel decisivo na comissão que estudou, propôs e conduziu a adesão de Portugal ao ESRF, a fonte europeia de radiação de sincrotrão.

Foi responsável por mais de duas dezenas de disciplinas e cursos de Licenciatura e de pós-graduação e pela organização e elaboração dos planos de estudos de vários cursos e unidades curriculares. Orientou núcleos de estágios pedagógicos e colaborou com professores dos ensinos básico e secundário e, mais recentemente, no Programa Doutoral em Ensino das Ciências. Reconhecida unanimemente pela clareza expositiva das suas aulas era capaz de explicar os conceitos mais difíceis de forma simples e acessível, mas rigorosa, também de transmitir o entusiasmo que sentia pelas matérias que lecionava. Deixou-nos um conjunto de livros, manuais e notas de aulas, com destaque para o livro “Fundamentos de Física” em coautoria com a professora Maria José de Almeida, editado pela Almedina, e para os apontamentos em dois volumes das “Lições de Física do Estado Sólido”.

Todos os que tiveram o privilégio de conviver com a professora Margarida Ramalho são testemunhas do seu carácter íntegro, afável e amigo para com todos, e da sua generosidade. Já após a sua jubilação, deu explicações de variadas matérias a estudantes carenciados, num programa promovido pelo Instituto Justiça e Paz. De forma, discreta, no seu habitual “low profile”, a muitos assim ajudou.

Também eu fui um privilegiado por poder contar com o seu apoio, com a sua amizade, e com ela ter podido partilhar muitos bons momentos. Fica o seu legado e a grata memória da sua amizade e dedicação.

Faleceu Maria Helena Carvalho de Sousa Andrade e Silva, professora aposentada da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

É com enorme pesar que a Direção da Sociedade Portuguesa de Física comunica o falecimento da professora Maria Helena Andrade e Silva e expressamos, em nome da SPF, as mais sentidas condolências à família e aos seus colegas e amigos.



1927-2021

Em memória de Maria Helena Andrade e Silva

Ana Nunes

Departamento de Física, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

Maria Helena Carvalho de Sousa Andrade e Silva, professora aposentada da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL), faleceu aos 94 anos no passado dia 31 de Outubro. A sua vida profissional e pessoal cruza-se com a história da FCUL no século XX, e em particular com a história do Departamento de Física.

Juntamente com o seu colega de curso João Luís Andrade e Silva, com quem viria a casar, iniciou a Licenciatura em Ciências Físico-Químicas em 1947 e integrou o grupo de estudantes da FCUL a quem António Sérgio dirige as “Cartas de Problemática”. Em 1953, já casada, parte para o exílio em Paris, onde a família viverá até 1971. Durante esse período, faz a tese de doutoramento na área da Física Atômica e Molecular, e frequenta o círculo dos físicos próximos de Louis de Broglie, de quem João Luís Andrade e Silva era um dos mais próximos colaboradores. O regresso a Lisboa acontece em 1971, durante a “Primavera Marcelista”, e o casal passa a integrar o corpo docente do Laboratório de Física, hoje Departamento de Física, da FCUL. Desde essa altura e até à sua aposentação em 1996/97, dedicou-se sobretudo ao ensino, especialmente da Mecânica, da Mecânica dos Meios Contínuos e da Mecânica Analítica. Parecendo estar, nessa época, o tratamento de ‘Professor’ reservado para uso exclusivo no género masculino, todos a chamávamos ‘Dra. Maria Helena’ - o que acabava por condizer melhor com a sua personalidade, aberta e despretensiosa, do que um tratamento mais formal.

A Dra. Maria Helena ensinou a várias gerações aqueles conteúdos, talvez os mais importantes na formação de qualquer físico, gerações que recordam com admiração e gratidão a sua entrega ao ensino, a sua abertura para aprofundar qualquer discussão, e a sua permanente disposição para ajudar os alunos a ultrapassar as dificuldades, fossem estas académicas ou pessoais. Era um daqueles professores que tratam os seus alunos pelo nome. E era também um daqueles professores a quem se podia pedir bibliografia sobre qualquer área da Física, com a certeza de receber a indicação de livros de texto de referência nessa área. Outra vertente do seu papel no Departamento de Física foi a formação de todos os que foram seus colaboradores na docência, nomeadamente no que respeita à avaliação de conhecimentos, aspecto a que sempre deu a máxima importância.

Os seus colegas mais próximos recordam também como os seus interesses se estendiam para além da física, da reflexão filosófica sobre a ciência à literatura, da pintura às questões sociais da época. Foi, plenamente, uma mulher do seu tempo, que deixou na vida do Departamento de Física em que participou uma marca de humanidade e de inteligência.

Mini-escola do LIP sobre terapia de partículas carregadas e suas aplicações

A terapia de prótons é um tipo de radioterapia que utiliza as propriedades físicas da interação de partículas carregadas com a matéria por forma a maximizar a dose depositada nas regiões de interesse enquanto minimiza a dose depositada em tecidos saudáveis. Na base da técnica está o facto de as partículas carregadas, no caso os prótons, interagirem diretamente com a matéria através da excitação e ionização dos eletrões do meio, perdendo cada vez mais energia à medida que a distância percorrida aumenta. Esta perda de energia, tanto maior quanto menor for a energia cinética das partículas, resulta numa estrutura conhecida pelo pico de Bragg e permite um controle muito preciso sobre a deposição de energia em profundidade. É possível minimizar a dose no percurso até à região a tratar, mas sobretudo a dose a jusante do tumor é negligenciável, permitindo diminuir significativamente o risco da radiação nos órgãos adjacentes.

O interesse nesta técnica com grande aplicação em oncologia pediátrica tem crescido exponencialmente no mundo. Em Portugal, foi decidida a instalação de um centro de terapia com prótons que deverá servir também como centro de investigação com uma componente interdisciplinar ligando a Física, a Biologia e a Medicina. Com a criação da associação ProtoTera para a instalação do centro, e com a criação de programas específicos para doutoramentos na área, o número de alunos cresceu acentuadamente nos últimos dois anos. No entanto, a pandemia e a dispersão geográfica das pessoas tornaram difícil aos membros desta comunidade recente aprender sobre as atividades em curso e encontrarem-se.

Neste contexto, foi organizada pelo LIP uma pequena escola que permitisse introduzir os estudantes aos temas de investigação que estão a ser desenvolvidos em diferentes grupos, mas que também permitisse a interação, a partilha de conhecimento e fomentar a entreajuda entre os diversos participantes.

A escola decorreu de 2 a 9 de dezembro de 2021 e contou com cerca de 40 participantes: alunos, supervisores e oradores convidados. O formato escolhido foi híbrido: durante a semana, no final de cada tarde, realizaram-se palestras por especialistas, exclusivamente *online*. No sábado, decorreu no auditório do LIP, em Lisboa, uma *workshop* presencial, também acessível por ligação zoom.

No sábado, o programa deu primazia a palestras de estudantes e à partilha de experiências profissionais na

área. Estiveram presentes 16 estudantes, tendo a *workshop* sido acompanhada remotamente por cerca de outros tantos participantes, entre professores, estudantes e investigadores.

Os tópicos abordados nas palestras dos alunos incluíram verificação de alcance, detetores de fibras, imagiologia, a utilização de *minibeams*, terapia FLASH e nanopartículas.

Os oradores convidados foram José Marques (Presidente da Associação ProtoTera - IST / CTN), sobre “O Estado da Rede ProtoTera”; João Seco (DKFZ, Alemanha) com uma atualização sobre o “Estado da arte da *FLASH Therapy*”; Tiago Madaleno (IPO Lisboa) que falou sobre “Prática clínica” em radioterapia com prótons; Yolanda Prezado (Institut Curie, Université PSL, Orsay, França) sobre “Novas abordagens em radioterapia” e Manjit Dosanjh (CERN), discutindo “Terapia por partículas carregadas e o CERN”.

A avaliação da escola por parte dos estudantes foi muito positiva. É sobretudo relatada a oportunidade para aprenderem mais sobre a área, para partilharem o seu trabalho, mas também para receberem comentários e ajuda para o trabalho que estão a desenvolver. A maior parte dos estudantes esperam que a escola se repita rapidamente e que seja criado um conjunto de ferramentas que facilite a interação da comunidade e a partilha de conhecimento.

Não de somenos importância foi também a oportunidade de, cumprindo as regras de segurança, ter momentos mais informais de interação para se conhecerem pelos nomes, mas também os rios e as serras preferidas de cada um. Fica a foto do evento à porta do LIP.

<https://indico.lip.pt/event/1068/contributions/>



Apresentação Núcleo Português de Magnetismo

O Núcleo Português de Magnetismo (NPM) foi idealizado em 2019 após se identificar a necessidade de congregar formalmente a comunidade portuguesa que trabalha nas variadas áreas de investigação em magnetismo. Esta comunidade tem vindo a realizar trabalho de ponta/referência nas últimas décadas, marcando presença constante e notória em eventos internacionais, e tendo também atraído para o país a realização de conferências internacionais. Apesar de ser uma comunidade ativa e numerosa, não havia, até à data, um ponto de união para promover o diálogo e colaboração a nível nacional.

A formação do NPM é assim o resultado do impacto do trabalho dos alunos, professores e investigadores desta área, e nasce em 2021-06-16 no seio da Divisão de Física da Matéria Condensada da Sociedade Portuguesa da Física, apresentando-se oficialmente por videoconferência em 6 de Julho de 2021, com a missão de servir de ponto de encontro de todas as pessoas e laboratórios/grupos que trabalham em e com magnetismo (em toda as suas vertentes e aplicações).

O NPM tem também como um dos seus objetivos principais ser uma plataforma que possa servir de mostra para os seus investigadores divulgarem, quer o seu trabalho científico, quer as infraestruturas que têm à sua disposição, culminando assim na criação de um portefólio nacional de equipamentos e técnicas na área do magnetismo. O NPM quer também fomentar o contacto entre investigadores ligados à área de magnetismo, com especial atenção a jovens investigadores (alunos de doutoramento e recém doutorados), para que estes possam criar a sua rede de contactos e colaborações científicas em diversas disciplinas do saber. Isto dará lugar a uma nova geração de investigadores que garantirá a renovação de massa crítica na área do magnetismo, dentro e fora de Portugal.

Adicionalmente, o NPM pretende atuar também como uma ponte entre a academia (universidades, politécnicos e centros de investigação) e o tecido empresarial, de forma a valorizar o conhecimento e competências adquiridas na academia em prol de uma indústria mais inovadora e competitiva.

Finalmente, é também uma das missões do NPM a divulgação de conceitos e aplicações do magnetismo para o público geral, de forma a suscitar o interesse e sensibilizar o cidadão comum para a importância desta área de investigação no seu dia-à-dia.

Convidamos assim que se juntem ao NPM todas as pessoas que estejam interessadas quer em aspectos fundamentais, quer em aplicações do magnetismo, nomeadamente (mas não em exclusivo) em: transformação e geração de energia,

refrigeração, armazenamento/leitura de informação, sensores, biomagnetismo, sistemas 2D, nanoestruturas, etc.

Para o NPM sugestões e ideias são muito bem vindas. Por isso, quem estiver interessado em ter um papel mais activo no NPM pode contactar-nos por e-mail: npm@spf.pt



UFPLP organiza a 4ª Conferência de Física dos Países de Língua Portuguesa

A União de Físicos de Países de Língua Portuguesa (UFPLP, ufplp.org), da qual a SPF é sócia-fundadora, está a organizar a 4.ª Conferência de Física dos Países de Língua Portuguesa (4CFPLP), a ser realizada de 12 a 16 de setembro de 2022 na Cidade da Praia, em Cabo Verde. Com o tema “A Física para o Desenvolvimento Sustentável”, a Conferência insere-se nas atividades que celebram 2022 como “International Year of Basic Science for Sustainable Development”, proclamado por uma resolução aprovada na Assembleia Geral da ONU em 2021.

O evento conta com o apoio institucional da Comunidade de Países de Língua Portuguesa, e o patrocínio da União Internacional de Física Pura e Aplicada (IUPAP), da Sociedade Europeia de Física (EPS), da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), da Sociedade Portuguesa de Física e da Sociedade Brasileira de Física.

A Comissão Científica da Conferência é presidida por Ricardo Galvão e a Comissão Organizadora é presidida por Sónia Semedo, da Universidade de Cabo Verde, entidade que promove e recebe o evento. Todos os países membros da UFPLP estão envolvidos na construção deste evento.

A conferência tem em destaque, sem excluir outros não mencionados, os seguintes temas:

1. Divulgação e ensino da Física (incluindo ensino digital e aplicações);
2. Meio ambiente, mudanças climáticas;
3. Poluição oceânica e prevenção de calamidades;
4. Fontes sustentáveis de energia;
5. Contribuições da física para a engenharia;
6. Física para a vida;
7. Tecnologia espacial, em particular utilização de nanosatélites;

A FÍSICA PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

4ª CONFERÊNCIA DE
FÍSICA DOS PAÍSES DE
LÍNGUA PORTUGUESA

CABO VERDE | CIDADE DA PRAIA | 12 a 16 SETEMBRO DE 2022

8. Sistemas complexos;
9. Inteligência artificial;
10. Nanotecnologias.

Convidamos os interessados a submeterem trabalhos até o dia 15 de março.

Mais informações no site da Conferência:
<https://4cfplp.sci-meet.net/pt>

Primeira edição do Fórum EPS, 2-4 junho, na Sorbonne, em Paris

A *European Physical Society* (EPS) encontra-se a organizar a primeira edição do EPS FORUM que terá lugar na Universidade Sorbonne, Paris, entre 2 e 4 de junho de 2022.

O EPS Forum é um encontro internacional direcionado a todos os investigadores europeus, estudantes de doutoramento e pós-doutorados que procurem oportunidades de investigação em grandes empresas e *start-ups*, visando encorajar o diálogo com representantes do setor industrial. O formato do EPS Forum inclui uma série de conferências, mesas redondas e workshops dedicadas aos seguintes temas:

- Física da matéria condensada: dos materiais quânticos à manufatura aditiva
- Energia e sustentabilidade, transporte e tecnologia
- Aceleradores, física de partículas, física nuclear
- Tecnologias quânticas e fotónica
- *Machine Learning* e inteligência artificial
- Biofísica, sequenciamento tecnológico de proteínas, pandemia, tratamento de cancro.

O EPS Forum visa apresentar os desenvolvimentos mais recentes nestes campos da Física, tanto sob o ponto de vista da Física Fundamental como sobre as suas aplicações industriais. Será dado ênfase, em particular, às oportunidades de emprego para as gerações mais novas de Físicos.

O primeiro dia do EPS FORUM visa aproximar e criar contactos entre doutorandos e bolseiros de pós-doutoramento e as empresas baseadas em Física, promovendo a investigação e desenvolvimentos tecnológicos realizados no setor industrial. No segundo dia irá decorrer uma conferência de Física dedicada aos temas do Fórum, abordada de um ponto de vista mais fundamental e patrocinada por cientistas de alto nível. Serão também efetuadas mesas redondas dedicadas a questões sociais.

O formato deste evento abre a possibilidade de discutir os avanços recentes num amplo espectro de tópicos, de conhecer pessoalmente personalidades altamente qualificadas em investigação, incluindo vencedores do Prémio Nobel, e de falar diretamente com CEO's, representantes e partes interessadas do setor industrial. Para mais informações, consultar: <https://epsforum.org>

Encontro Magnetism in Portugal 2022 – Young Researchers, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, 12 e 13 de setembro de 2022

O Núcleo Português de Magnetismo encontra-se a organizar o encontro “Magnetism in Portugal 2022”, que terá lugar na Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, nos dias 12 e 13 de setembro de 2022. O encontro é dedicado a jovens investigadores, estudantes de mestrado, de doutoramento e de pós-doutoramento, envolvidos ou interessados em diferentes temas do Magnetismo. O objetivo principal é reunir um grupo multidisciplinar de jovens cientistas e estudantes de diferentes instituições, espalhadas por todo o país, para apresentar e trocar ideias inovadoras na área do magnetismo. O encontro pretende ser também uma plataforma para o estabelecimento de colaborações entre todos os participantes. Brevemente será disponibilizada a respetiva informação.

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

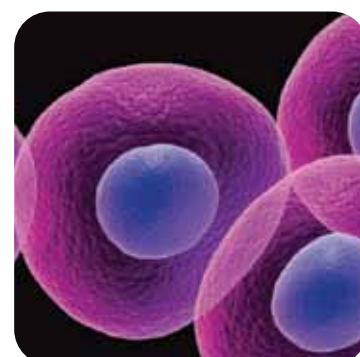
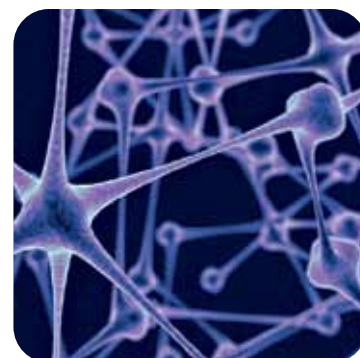
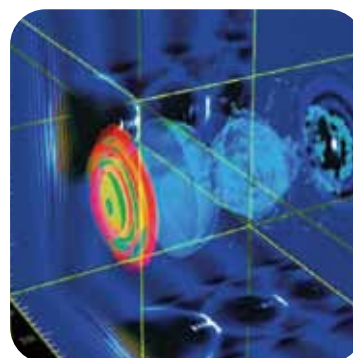
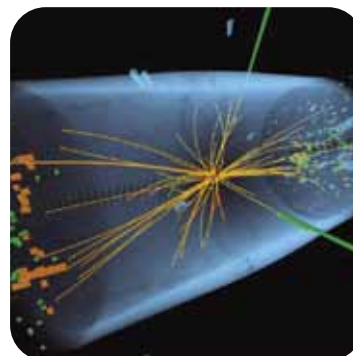
Tabela (acresce IVA)

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

FÍSICA 2022

23^a Conferência
Nacional de Física

32^o Encontro Ibérico
para o Ensino da Física

7—10
Setembro,
2022

Física do Clima

Gravitação

Grafeno & “ângulo mágico”

Eletrónica Flexível

100 anos da experiência
de Stern-Gerlach

Faculdade de
Ciências da
Universidade
do Porto

fisica2022.spf.pt

