

# PULSAR

REVISTA DO NÚCLEO DE FÍSICA DO IST | 2º SEMESTRE 2015/2016 | EDIÇÃO 37 | DISTRIBUIÇÃO GRATUITA

## NÓBEIS CAMALEÕES

Artigo exclusivo sobre as oscilações de neutrinos (Prémio Nobel da Física)

## OS MISTÉRIOS DO NUCLEÃO

Conversa com Paula Bordalo, COMPASS

## ESTÁGIOS DE VERÃO

Dicas para quem se aborrece nas férias





**Destaque acima:** Detector de neutrinos de Gran Sasso, Itália.

Fonte: © Paolo Lombardi/INFN-MI

**Imagem de capa:** Super-Kamiokande, observatório de neutrinos localizado sob o monte Ikeno, Japão.

Fonte: © Super-Kamiokande

## Apoios



## Parceiros



## Ficha Técnica

### Direcção:

Ana Henriques

Nuno

Rita Teixeira da Costa

### Redacção:

António Coelho, Beatriz Lopes, Bruno Veleixo Bento, Duarte David, Henrique Rodrigues, João Melo, Nuno Santos, Pedro Gomes, Rita Teixeira da Costa, Rodrigo Campos de Carvalho, Tiago Paulino. *Autores convidados:* Pedro Ribeiro, Filipe R. Joaquim

### Revisão de textos:

Nuno Santos, Rita Teixeira da Costa

## Arte

**Design e montagem:** Ana Henriques, Rita Teixeira da Costa

## Produção

**Impressão:** LST, Artes Gráficas

**Tiragem:** 1500 exemplares

## Contacto

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

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

**e-mail:** [pulsar@nfist.pt](mailto:pulsar@nfist.pt)

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

**Telefone:** 218419075

**Ext:** 3075

## Índice

- 4** Breves & Crónica | A Very Big Bang
- 5** DIYPhysics: Ar Abrutalhado
- 6** Festas à Físico
- 7** Perder o equilíbrio
- 8** Estágios de Verão
- 10** Escola de Inverno de Física de Partículas
- 11** Desvendar os mistérios do nucleão
- 14** Neutrinos: os Nóbeis camaleões
- 16** Comics Debunked
- 18** A verdadeira dieta mediterrânica
- 20** Arago, Fresnel, Poisson... e o seu ponto
- 21** Ciência e Literatura
- 22** A física e tecnologia do frigorífico

## Editorial

A PULSAR está de volta, desta feita com um número dedicado à Física de Partículas: desde as oscilações de neutrinos, que valeram a Takaaki Kajita e Arthur B. McDonald o prémio Nobel da Física (um de muitos para esta área da Física!) até à experiência COMPASS a realizar-se no CERN que, assim esperamos, permitirá desvendar os mistérios do nucleão. Mas, é claro, a PULSAR não fica por aqui: para equilibrar as coisas, trazemos-te um artigo muito interessante sobre Física em estados fora do equilíbrio, da autoria de um investigador que trabalha nesta área.

Pela primeira vez, a nossa crónica Comics Debunked, disponível semanalmente na nossa página de Facebook, passa para o papel! Não percas a nossa análise da morte da namorada de Peter Parker e das peripécias de Gaston LaGaffe.

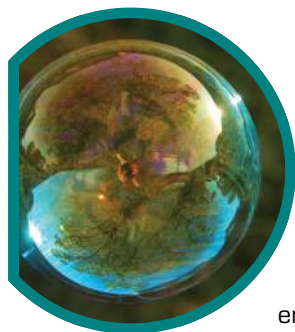
Como sempre, podes ainda contar com algumas dicas para experiências em casa – com a crónica DIYPhysics à sugestão em Festas à Físico vais descobrir muitas experiências aéreas... – e para completar, apresentamos-te vários testemunhos de aspirantes a físicos em estágios de Verão. E, porque a estação assim o pede, terminamos com um artigo bem gelado sobre o funcionamento do frigorífico.

Até breve,

Rita Teixeira da Costa  
Ana Henriques  
Nuno Santos

## Anãs misterioras

O telescópio do *Sloan Digital Sky Survey*, situado no Novo México (EUA), observou pela primeira vez uma anã branca com uma atmosfera maioritariamente constituída por oxigénio. Tipicamente, estrelas com menos do que 8 a 10 massas solares evoluem para anãs brancas. Estes objectos quentes e extremamente densos são compostos pelo material remanescente do núcleo da estrela, em particular hélio, carbono e oxigénio. O espectro invulgar da anã branca agora descoberta sugere que a atmosfera de hidrogénio e hélio terá desaparecido durante a sua formação, dando lugar ao oxigénio, o que desafia a teoria da evolução estelar. [*Science* 352, 67]



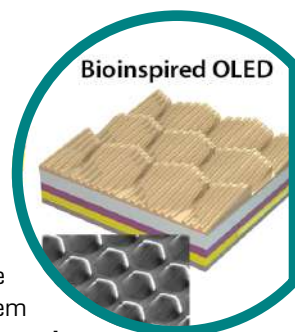
## O maravilhoso mundo das bolas de sabão

Muitos físicos terão certamente brincado com bolas de sabão na sua infância. Outros há que ainda o fazem, como é o caso de um grupo de investigadores franceses, que desenvolveu um modelo a velocidade do ar necessária para a formação de bolas de sabão. A equipa mostrou que estas resultam de uma competição entre pressão do ar expirado e tensão de superfície do filme de sabão. Embora os resultados sejam intuitivos, a teoria oferece uma descrição quantitativa que pode ser útil para o desenvolvimento de processos industriais ou até mesmo em cosmologia. [*Phys. Rev. Lett.* 116]

## Iluminação natural... literalmente!

Os pirilampos são organismos bioluminescentes, ou seja, são seres vivos capazes de emitir luz. No caso destes insectos, a emissão de luz ocorre na região abdominal, que se caracteriza por um padrão micrométrico semelhante em forma e relevo a uma telha. Estas propriedades são responsáveis pela elevada eficiência do órgão bioluminescente.

Inspirando-se nos pirilampos, cientistas da Coreia do Sul desenvolveram um LED orgânico (OLED) com um padrão de superfície semelhante ao encontrado nestes insectos. Além de apresentar um ângulo de iluminação maior, este novo dispositivo tem uma eficiência de 61% em comparação com OLEDs de superfícies simples. [*Nano Lett.* 16, 2994]



## Crónica | A Very Big Bang

por Henrique Rodrigues, aluno do 3º ano do  
Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST

Um recurso infelizmente recorrente de muitas séries de televisão de terceira categoria consiste na utilização de doppelgängers. O protagonista caminha rua fora quando, para seu espanto, se depara com alguém que lhe é fisicamente idêntico! Mas, ao contrário do nosso herói, este indivíduo gosta de roubar doces a crianças e pontapear cãesinhos. O nosso Universo funciona neste esquema.

De facto, após ter passado tempo suficiente depois do Big Bang para matéria e energia cessarem de se interconverter, observa-se uma batalha campal entre dois lados da mesma moeda: a matéria, e a anti-matéria. Estes doppelgängers são imagens espelhos: têm a mesma massa e propriedades, mas todas as suas características – carga, spin, etc – são simétricas. Enquanto que um electrão tem carga negativa, a sua antipartícula correspondente – o pósitron – possui carga positiva, de igual valor! E mais incrível ainda, quando partículas e antipartículas entram em contacto, ocorre uma explosão luminosa em que se aniquilam mutuamente. Ou, noutras palavras, o nosso simpático protagonista e o seu gémeo malvado decidem tratar das suas diferenças através de uns belos socos e pontapés.

Mas se o nosso mundo é constituído principalmente por matéria, porque é que a anti-matéria desapareceu quase toda? A primeira hipótese consistiria, naturalmente, em assumir que originalmente haveria muito mais matéria do que anti-matéria. Falso! O Universo aparenta ter surgido com quantidades iguais. A teoria que hoje em dia se aceita como sendo a mais correcta para explicar esta discrepância resulta de um fenómeno aparentemente inócuo, mas de grandes consequências: existem duas partículas – os bosões X e Y – que ao longo da sua interacção com o meio envolvente e decaimento levavam à libertação de cerca de uma partícula a mais de matéria em cada milhão. E se existem cerca de  $10^{23}$  moléculas em  $22.4 \text{ dm}^3$  de ar, imaginem quantas partículas destas existiriam no Universo...

Este desequilíbrio tão miserável acaba por codificar o porquê de, por exemplo, hoje termos electricidade e não fluxos de pósitrons. Se não fossem uns quantos bosões meio diferentes, talvez não houvesse tomadas eléctricas para nos dar choques – aliás, talvez nem estivéssemos aqui hoje para nos lamuriarmos dos choques que apanhamos a mexer nas tomadas! ■



# DIYPhysics

## Ar Abrutalhado

por Rodrigo Campos de Carvalho, aluno do 3º ano do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST

### O que vais precisar



Água e algum gelo



Uma fonte de aquecimento



Uma lata

**E**sta experiência propõe ao leitor um método inovador, rápido e eficaz para esmagar latas! Vais precisar de uma lata de refrigerante, de um fogão ou placa de aquecimento e de uma taça com água fria. O primeiro passo é beber o refrigerante. Recomendo Ice Tea do Pingo Doce, que é o mais barato que se arranja. Se fores mais forreata, saudável, ou astuto, podes sempre ir ao café da esquina pedir simpaticamente a um empregado para enfiar a mão no lixo e de lá extrair uma lata vazia. Aquelas latas novas da Coca-Cola, mais magrinhas e altas, também servem.

Depois de esvaziar a lata, coloca um pouco de água no fundo e põe ao lume. Não estranhes se sentires um cheiro esquisito: são apenas alguns restos de refrigerante que se queimaram. Espera um pouco. Como no Vaticano, o fumo branco anuncia a boa nova (*Habemus Latam!*). Quando começares a vê-lo, pega na lata com uma luva ou uma pinça, [atenção que está quente!] e virando-a ao contrário coloca-a dentro da taça com água. Basta submergi-la ligeiramente. PUM! “Ah, explodiu!”. Não, não explodiu. Sejam os corretos:

sobe e escapa-se da lata. Daí o fumo branco que vemos. Consequentemente, dentro da lata fica apenas uma pequena quantidade de vapor quente. Mas este é muito agitado e consegue contrariar a pressão atmosférica. Ou seja: por enquanto tudo continua equilibrado.

Quando introduzimos a lata em água fria, o vapor volta ao estado líquido. De repente, já nada contraria a pressão exterior. Por outras palavras, a pressão interior torna-se muito menor que a exterior. É este gradiente de pressões que leva ao esmagamento da lata. Isto dado que o ar, pouco inteligente, preocupa-se apenas com equilibrar as pressões e não olha a meios para atingir o seu objetivo.

Claro que a entrada óbvia, pelo gargalo, também é utilizada. Mas a água estava no caminho! Se pegarmos na lata virada ao contrário pouco depois de implodir, vemos que no processo ficou cheia de água. No entanto, a água não foi suficientemente rápida a equilibrar as pressões e as paredes da lata não conseguiram resistir ao abrutalhado ar. Com um recipiente mais rígido, a implosão não ocorreria.



1 | Aquece a lata.



2 | Mergulha em água fria.



3 | BUUUM!



4 | De novo?

implodiu. Se nada aconteceu, das duas uma: ou foste demasiado rápido – o fumo branco é um bom indicativo de que esperaste tempo suficiente –, ou a água da taça não estava suficientemente fria – junta umas pedras de gelo.

A experiência fica ainda mais interessante quando sabemos que o responsável por destruir a lata é nada mais nada menos que o ar! O ar, sendo uma mistura de gases, é constituído por muitas pequenas partículas que se movem quase livremente e exercem forças nos objetos à sua volta. Por isso, dizemos que o ar exerce uma pressão sobre nós: a pressão atmosférica. Esta pressão é bastante maior do que julgamos: é equivalente ao peso de um autocarro de dez toneladas concentrado num metro quadrado! No entanto, habitualmente o seu efeito não se faz sentir pois o ar está por todo o lado e as pressões estão equilibradas. Por exemplo, dentro de uma lata vazia existe ar que balança a pressão exercida pelo ar exterior.

Desta feita, a lata não teve tanta sorte... A água que colocámos no fundo da lata, ao aquecer, transformou-se em vapor. Este, por ser menos denso que o ar ambiente,

Este efeito ajuda-nos a compreender o funcionamento das palhinhas. Ao sugar, criamos uma zona de baixa pressão dentro da nossa boca. O ar exterior tenta entrar para balancear o desequilíbrio, empurrando a bebida à sua frente. Se a palhinha estiver furada, ou se não a selarmos bem com a boca, não conseguimos beber nada visto que o ar vai aproveitar esses pequenos atalhos para entrar.

Resumindo a informação: quando aquecemos a lata, a água que estava no fundo evapora-se, ficando apenas uma pequena quantidade de vapor lá dentro. Quando arrefecemos a lata, este condensa-se fazendo com que a pressão dentro da lata fique muito baixa. A pressão atmosférica deixa então de ter adversário, esborrachando a lata.

Este método inovador é muito útil para o reciclador que procura evitar que os sacos de reciclagem fiquem cheios logo após serem esvaziados. Para além disso, fazer esta experiência nunca deixa de ser giro [escreve alguém que já a fez certamente uma meia centena de vezes e continua a divertir-se]. Convenhamos: se é capaz de juntar reciclagem e entretenimento, não lhe falta mesmo nada! ■

\*O autor escreve ao abrigo do novo Acordo Ortográfico.



# Festas à Físico

## Relação pressão-volume de um balão

por Tiago Paulino\*, finalista do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST

Se encheres um balão vais notar que este requer bastante mais esforço para encher ao início ficando mais fácil posteriormente, e ainda mais fácil numa segunda ou terceira tentativa depois de o esvaziáres. Mas porque é que isto acontece? Neste artigo, vamos responder a esta (e outras) perguntas.

O primeiro balão de borracha foi feito por Michael Faraday em 1824 para utilização nas suas experiências com hidrogénio. Algum tempo depois estes balões foram introduzidos como brinquedo mas só se tornaram populares bastante mais tarde, após a II Guerra Mundial. Nos dias de hoje, são maioritariamente feitos de borracha natural e podemos encontrá-los na maioria das festas e celebrações... bem como alguém, ofegante, depois de encher todos os balões.

Mas o que nos custa tanto a encher balões? O esforço que temos de fazer ao soprar para enchê-los está directamente relacionada com a pressão no interior do balão. Assim, a pergunta que surge é: como varia a pressão num balão conforme varia o seu volume?

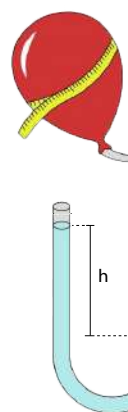


Figura 1: Esquema da montagem experimental.

Em Física, se temos a possibilidade, não há hipótese melhor que começar por medir experimentalmente! Uma montagem experimental adequada é, por exemplo, a apresentada na Figura 1. O balão está ligado a uma bomba de ar que permite enchê-lo e vazá-lo controladamente, e a um manómetro de água que serve para medir a pressão. Um manómetro é um dispositivo bastante simples que consiste num tubo em U com água no interior em que uma das pontas se encontra a pressão atmosférica e a outra à pressão do balão, sendo que a diferença de pressão entre as duas pontas é dada por  $\Delta p = \rho gh$  onde  $h$  é a distância entre as duas colunas de água e  $\rho$  é a densidade da água. Se assumirmos que o balão tem uma forma esférica, o seu volume depende do raio que pode ser medido por uma fita.

Na Figura 2, observa-se uma curva de pressão em função do raio obtida, com esta montagem, para um balão comum. Numa fase inicial, a pressão cresce muito rapidamente atingindo um máximo em cerca de 1.3 vezes o raio inicial do balão. Após esta primeira fase a pressão vai diminuindo, mais lentamente até o raio ser cerca de 3 vezes o inicial. Por fim, numa última fase a pressão aumenta com o aumento do volume, até chegar a um ponto em que o material não suporta mais e o balão rebenta!

No gráfico da direita vê-se que, quando se enche um balão pela 3ª ou 5ª vez, a pressão é menor como seria de esperar. Isto acontece pois, quando a borracha é esticada, a partir de um certo ponto já não regressa ao seu estado inicial, sofrendo assim uma alteração nas suas propriedades, nomeadamente a elasticidade.

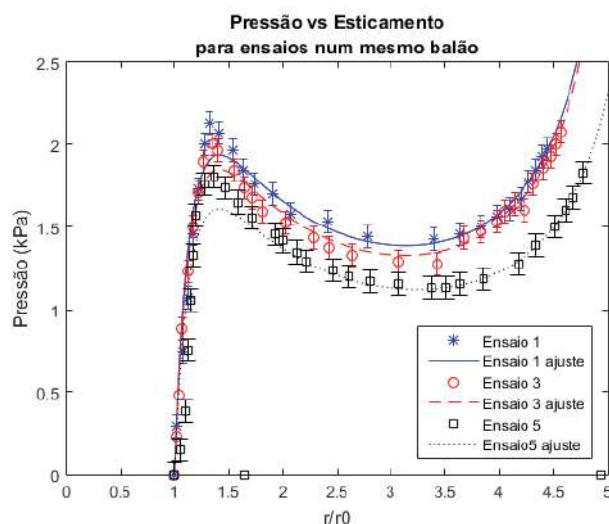


Figura 2: Diâmetro do balão vs. pressão de ar, para várias rondas de enchimento e esvaziamento.

A borracha natural é um material hiperelástico e em mecânica dos meios contínuos as propriedades deste material são descritas pela densidade de energia de deformação. Um primeiro modelo para descrever este comportamento foi proposto por Melvin Mooney e Ronald Rivlin em 1948. No entanto este modelo é apenas válido para pequenas deformações, e como tal, no caso do balão nota-se que a curva apenas corresponde numa primeira fase.

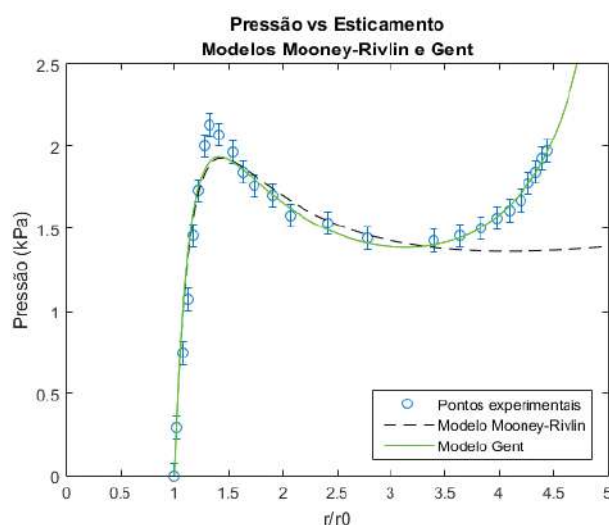


Figura 3: Comparação da relação entre pressão e diâmetro com o previsto por dois modelos típicos.

Mais recente, um modelo proposto por Alan Gent consegue expressar com bastante mais precisão a elasticidade da borracha (Figura 3). ■

\*Resumo de um trabalho realizado no âmbito de Introdução à Investigação (MEFT).



# Perder o equilíbrio...

por Pedro Ribeiro, investigador<sup>1</sup> no Centro de Física e Engenharia de Materiais Avançados (CeFEMA), IST e Professor Convidado do Departamento de Física do IST

Um dos objectivos da Física é descrever estados da matéria, i.e., gases, líquidos, sólidos e, entre eles, supercondutores, metais, magnetos, etc. Todas estas denominações referem-se a estados em equilíbrio, em que noções termodinâmicas, tais como temperatura e entropia, estão bem definidas. No entanto, há estados que, pela sua natureza, só podem ser obtidos em sistemas fora de equilíbrio. Um exemplo acontece em sistemas atravessados por correntes (de partículas, de energia, de spin, etc). Quando olhadas localmente, as propriedades destes estados são estacionárias, i.e., não dependem do tempo<sup>2</sup>, no entanto, eles são fundamentalmente diferentes de estados em equilíbrio. Estas diferenças são especialmente importantes à escala microscópica, em que as leis de evolução são descritas pela mecânica quântica. Neste caso, a noção de temperatura tem de ser analisada de forma crítica: há estados que simplesmente não termalizam, i.e., nunca podem ser descritos como estados em equilíbrio, e outros em que diferentes formas de medir a temperatura resultam em valores distintos. Este artigo tenta descrever algumas linhas de investigação neste contexto que têm conhecido um particular desenvolvimento nos últimos anos.

A primeira delas prende-se com a possibilidade de termalização de sistemas quânticos isolados com muitos graus de liberdade e tenta responder à seguinte questão: se prepararmos um sistema quântico num estado puro genérico e o deixarmos evoluir durante tempo suficiente, o que obtemos é, ou não, um estado de equilíbrio? Se já estudou mecânica quântica, a resposta óbvia é não, pois o estado inicial é um estado “puro”. Um estado quântico é dito puro se especifica toda a informação possível sobre o sistema<sup>3</sup>. Num estado térmico há informação probabilística sobre possíveis estados puros mutuamente exclusivos [ortogonais]<sup>4</sup>. As leis de evolução quânticas conservam a “pureza” dos estados, portanto um estado puro nunca pode evoluir para um estado térmico. Contudo, as propriedades destes dois estados podem ser muito similares ao ponto de um observador que só tem acesso a grandezas

físicas locais<sup>5</sup> não conseguir distinguir entre os dois. Este processo é denominado termalização, pois, para todos os efeitos práticos, o estado obtido é percebido como sendo térmico<sup>6</sup>. No entanto, há sistemas que nunca termalizam. Uma propriedade fundamental destes sistemas é serem completamente isolantes<sup>7</sup> (térmicos, elétricos, etc). Na investigação destes sistemas a noção de *entanglement*<sup>8</sup> teve um papel fundamental. Foi provado que, mesmo que não haja energia ou partículas transportadas, pelo sistema as correlações quânticas entre graus de liberdade em diferentes pontos aumentam com o tempo, muito embora a uma taxa muito menor que em sistemas que termalizam<sup>9</sup>. Estes resultados ajudam a esclarecer em que situações as noções termodinâmicas de temperatura e entropia podem emergir de leis microscópicas.

Outra linha de investigação propõe estender a noção de fase da matéria (e de transições de fase) a sistemas quânticos estacionários fora de equilíbrio. Em equilíbrio, há um conjunto de relações fundamentais que fazem corresponder a resposta de um sistema a pequenas perturbações com certos observáveis. Estas relações, chamadas leis de flutuação-dissipação, restringem as propriedades de um sistema em equilíbrio. Fora de equilíbrio, estas relações não têm de ser respeitadas, o que possibilita um conjunto de novos comportamentos ainda largamente desconhecidos. Muito há ainda por explorar mas, por exemplo, podemos encontrar estados fora de equilíbrio que têm uma temperatura bem definida apenas perto de transições de fase<sup>10</sup>; ou ainda casos em que as condições de não equilíbrio dão lugar a um conjunto de novas fases<sup>11</sup>, impossíveis em condições de equilíbrio.

Estes são exemplos de resultados teóricos recentes, motivados por avanços experimentais nas áreas de átomos frios e da física da matéria condensada, que permitem estudar sistemas quânticos complexos em tempo real. Esta é uma área dinâmica, em expansão e bastante interdisciplinar. Novos resultados não tardarão em chegar, é só preciso perder o equilíbrio... ■

## Notas:

<sup>1</sup>P. Ribeiro agradece o apoio financeiro da FCT através do programa Investigador FCT, contracto IF/00347/2014.

<sup>2</sup>Um exemplo simples é o estado estacionário obtido localmente numa torneira a correr.

<sup>3</sup>Isto não quer dizer que se possa conhecer, por exemplo, a velocidade e a posição das partículas ao mesmo tempo, pois isso violaria o princípio de incerteza de Heisenberg. Apenas diz que se especifica o estado do sistema sem nenhuma incerteza clássica.

<sup>4</sup>Um estado térmico só pode ser puro a temperatura nula.

<sup>5</sup>Este ponto é crucial e baseia-se no facto de ser praticamente impossível especificar um estado quântico de muitas partículas univocamente, pois para isso seria necessário medir quantidades altamente não locais.

<sup>6</sup>“Thermalization and its mechanism for generic isolated quantum systems”, M. Rigol, V. Dunjko, and M. Olshanii, Nature 452, 854 (2008).

<sup>7</sup>Esta afirmação refere-se a sistemas genéricos. Há casos especiais, tais como sistemas integráveis, que não termalizam e são condutores, mas qualquer perturbação aleatória transforma-os em sistemas genéricos.

<sup>8</sup>Este conceito foi inicialmente introduzido no contexto do tratamento quântico da informação para distinguir correlações intrinsecamente quânticas de correlações clássicas.

<sup>9</sup>“Unbounded Growth of Entanglement in Models of Many-Body Localization”, J. H. Bardarson, F. Pollmann, J. M. Moore, Phys. Rev. Lett. 109, 017202.

<sup>10</sup>“Steady-State Dynamics and Effective Temperature for a Model of Quantum Criticality in an Open System”, P. Ribeiro, F. Zamani, & S. Kirchner, PRL 115, 220602 (2015)

<sup>11</sup>“Nonequilibrium breakdown of a correlated insulator through pattern formation”, P. Ribeiro, A. E. Antipov, and A. N. Rubtsov, Phys. Rev. B 93, 144305 (2016)

# Estágios de Verão

compilação por Rita Teixeira da Costa, aluna do 3º ano do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST

A praia não é a tua onda e não sabes o que fazer nas férias? Estás prestes a receber uma dose de inspiração: a PULSAR foi descobrir por ti o que os físicos na moda andam a fazer.

.....

## Hands on Quantum Mechanics

**Como, quando e onde?** Entre 15 de Julho e 5 de Agosto, participámos na primeira edição do *Hands on Quantum Mechanics* (HOnQM)<sup>1</sup>, uma actividade apoiada pelo Centro de Física Teórica de Partículas (CFTP) e organizada no IST pelo Prof. Filipe R. Joaquim que contou com a participação de 20 estudantes do Mestrado Integrado em Engenharia Física Tecnológica (MEFT).

**Qual o objectivo?** Durante três semanas, todos explorámos, em grupo e de acordo com as nossas motivações, diferentes tópicos de investigação em Mecânica Quântica, como as oscilações de neutrinos e a supersimetria.

Tivemos ainda a oportunidade de contactar com investigadores do CFTP, entre os quais *alumni* do MEFT, que, além de discutirem temas fundamentais de Mecânica Quântica e de Física de Partículas, falaram do seu percurso e dos seus principais projectos de investigação.

**O que acharam da experiência?** Dada a pluralidade de uma ciência como a Física e o consequente nível de especialização exigido, saber trabalhar em equipa e conseguir familiarizar-se rapidamente com uma bibliografia extensa associada a um tópico novo são capacidades indispensáveis a uma investigação multidisciplinar e abrangente. Além do desenvolvimento destas valências, o HOnQM permitiu-nos ainda conhecer a história da teoria quântica, pois a Ciência é também olhar para o passado. Parafraseando Newton, “*If I have seen further it is by standing on the shoulders of Giants*”.

Leonel Queimada e Nuno Santos (3º ano do MEFT)

**Nota:** Se quiseres participar no HOnQM, fica atento às novidades na nossa agenda científica!

## Análise multivariada de eventos do CMS\*

**Como, quando e onde?** Durante 2 semanas trabalhamos sob a orientação de Pietro Vischia, com uma das equipas do LIP (Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas) responsável pela análise dos dados provenientes do detetor CMS no CERN.



**Figura:** Fotografia de grupo do HOnQM'15.

**Qual o objectivo?** O objectivo era perceber os principais processos utilizados no tratamento de grandes quantidades de dados das experiências no CERN e retirar conclusões com base na análise dos mesmos.

No início do estágio fomos introduzidos aos conceitos mais elementares da física de partículas e começámos por analisar dados vindos de simulações dos eventos que pretendíamos estudar. Em particular, construímos distribuições dos dados para as várias variáveis (cerca de 20) presentes na informação disponível de modo a percebermos a correlação entre elas e quais as que eram mais interessantes de estudar.

Numa segunda fase, utilizámos partes do *Toolkit for Multivariate Data Analysis* presente no ROOT, que permitia realizar a análise descrita anteriormente de uma forma mais eficiente, tornando ainda possível utilizar técnicas de análise multivariada (e.g. matrizes de correlação, redes neurais). Estas técnicas permitiam uma análise mais precisa da correlação entre variáveis assim como discriminar de forma mais refinada quais as mais interessantes de analisar para o tipo de evento em causa.

Além da parte científica/técnica tivemos ainda a oportunidade de apresentar o nosso trabalho em duas sessões via videoconferência, uma para a equipa LIP-CMS e uma para o grupo CMS de física Higgs-Exótica do CERN.

**O que acharam da experiência?** Este estágio permitiu-nos não só ter acesso a técnicas de análise de grandes quantidades de informação com as quais, em geral, não temos contacto durante o curso, mas também nos permitiu ter contacto direto com aquilo que é o dia-a-dia de um investigador.

Laura Lisboa e João Barata (2º ano do MEFT)

\*Os autores escrevem ao abrigo do novo Acordo Ortográfico.



## Raios Cósmicos @ IST

**Como, quando e onde?** No desenrolar da cadeira de Física Computacional, acordámos com o professor Fernando Barão (IST/LIP) realizar um projecto de Verão.

**Qual o objectivo?** No início de Julho fizemos uma reunião onde nos foi, então, apresentado o desafio: realizar a ligação software-hardware de um detector de raios cósmicos, passível de ser controlado através de um website. O projecto dividiu-se em 3 partes:

1. A criação de um servidor, base de dados e website, requerendo a utilização de Python, Html, CSS e JavaScript.
2. A comunicação com os sensores do detector através de um Raspberry Pi (protocolo I2C), onde foram necessários conhecimentos de Sistemas Digitais e uso de Python.
3. A programação em Python de uma rede servidor-cliente, responsável por estabelecer a comunicação entre o website e o Raspberry Pi.

As tarefas foram divididas entre os vários elementos do grupo; no entanto, as partes não se excluíam mutuamente e era necessário que cada elemento tivesse um entendimento global do projecto.

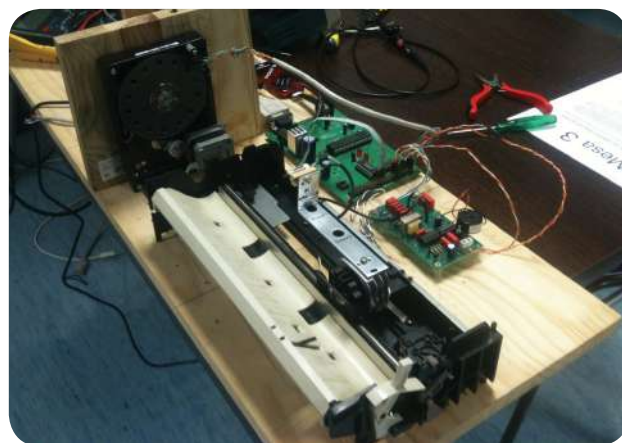
**O que acharam da experiência?** O projecto durou um mês e funcionou à base de metas semanais, existindo uma reunião semanal com o professor para avaliar os progressos e discutir eventuais dificuldades. O professor deu bastante liberdade quanto aos métodos utilizados, definindo essencialmente os objectivos e contribuindo com algumas possibilidades de execução.

Com este projecto tivemos a possibilidade de participar numa experiência com um professor a um nível mais sério e ainda de aprender novas linguagens de programação.

António Costa, Bernardo Malaca, Gonçalo Castro, Miguel Gonçalves, Pedro Pereira (3º ano do MEFT) e Henrique Nogueira (2º ano do MEEC)



**Figura:** A equipa do projecto Raios Cósmicos @ IST.



**Figura:** Montagens da experiência Radiare. A roda superior contém orifícios onde são inseridos os diferentes tipos de materiais e a calha faz variar a distância do detector à fonte.

## Experiência Radiare

**Como, quando e onde?** Em Julho do ano passado, participei num dos estágios do NF\_IST Summer Internships, em parceria com o IPFN.

**Qual o objectivo?** O estágio consistiu na programação de microcontroladores para controlo de uma experiência remota no e-lab, um laboratório online. A experiência em que estive a trabalhar chama-se *Radiare*, e o seu objectivo é analisar o número de partículas radioactivas que incide no detector, um contador Geiger, ao variar vários parâmetros como a distância da fonte e o material entre a fonte e o detector. Para além disso, determina o tempo entre contagens para vários materiais e distâncias (ver figura acima).

**Participaste em mais actividades?** Sim, também durante este estágio, fui convidado pelo Prof. Horácio Fernandes para participar na *PlasmaSurf* – escola de Verão de Física de Plasmas organizada pelo IPFN.

**O que achaste da experiência?** Entrei neste projecto numa fase intermédia, onde já estava escrito o código que varia a posição do detector na calha e o material a ser colocado entre a fonte e o mesmo. Coube-me a mim codificar os vários modos de funcionamento diferentes e fazer a integração da experiência na plataforma remota. Desde logo percebi que ia ser uma experiência desafiante, mas os conhecimentos que já trazia e a imensa ajuda do meu orientador, João Fortunato, tornaram o processo em algo mais simples.

Foi uma experiência bastante agradável em que aprendi bastante sobre física dos plasmas, fusão nuclear, lasers e suas aplicações. Para além disso ainda aproveitei as actividades lúdicas proporcionadas, como *mountainboarding*, que nunca tinha feito.

Ricardo Barrué (3º ano do MEFT)

## Interação Feixe-Plasma\*

**Como, quando e onde?** Em julho de 2015, no âmbito dos NF\_IST *Summer Internships*, participei num estágio no Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear (IPFN) do IST.

**Qual o objectivo?** Detectar possíveis problemas numa máquina de interação feixe-plasma e corrigi-los.

**O que achaste da experiência?** O trabalho não foi fácil, uma vez que tínhamos que passar largas horas no laboratório a preparar a máquina e realizar as experiências. No entanto,

os resultados foram bastante bons, e neste momento ela está em plenas condições de funcionamento e será usada (com protocolos por nós elaborados) nas disciplinas de Física Experimental do MEFT.

Este tipo de estágio é enriquecedor para a vida de qualquer futuro físico ou engenheiro físico, uma vez que permite lidar diariamente com os problemas típicos da atividade experimental nesta área. Nem sempre as coisas correm bem, e muitas vezes temos que nos “desenrascar” para fazer com que as coisas funcionem, mas se persistirmos e nos empenharmos podemos dar contributos importantes para o desenvolvimento científico.

Gonçalo Andrade (3º ano do MEFT)

\*O autor escreve ao abrigo do novo Acordo Ortográfico.

# Escola de Inverno de Física de Partículas

por Rita Teixeira da Costa, aluna do 3º ano do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST

A primeira edição da *Lisbon mini-school on Particle and Astroparticle Physics*, realizada entre 2 e 4 de Fevereiro, reuniu cerca de 15 jovens estudantes de Física na Costa da Caparica para uma introdução aos desafios actuais em Física de Partículas. Entre os presentes, encontravam-se não só futuros físicos nesta área, mas também curiosos. “Achei que seria uma boa oportunidade de conhecer mais investigadores na área, aumentar a rede de contactos e aprender um pouco mais sobre os vários ramos de investigação dentro desta área”, afirmou Ricardo Barrué, aluno do 3º ano do Mestrado Integrado em Física Tecnológica no IST.

Como não podia deixar de ser, a escola foi inaugurada com a apresentação, por parte do Centro de Física Teórica de Partículas (CFTP), do Modelo Padrão e do famoso mecanismo de Higgs para atribuição de massa às partículas que conhecemos. No entanto, os palestrantes foram *beyond the Standard Model*, explicando os problemas teóricos em aberto que actualmente os Físicos de Partículas

procuram resolver. Para complementar esta exposição, investigadores do Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas (LIP) demonstraram o papel activo que a ciência portuguesa tem nesta área, em particular em colaborações internacionais no CERN (nomeadamente, experiências ATLAS, CMS e COMPASS), no Observatório Pierre Auger (dedicado ao estudo de raios cósmicos), entre outras.

Na sessão de encerramento da escola, o director do LIP Lisboa, Prof. Mário Pimenta, afirmou que “estes são tempos entusiasmantes para a Física de Partículas, e precisamos da ajuda de todos, desde os mais interessados em electrónica e detectores, aos experimentalistas e aos físicos teóricos.” O investigador alertou ainda para o perigo de incorrer no complexo de inferioridade português: “Há 50 anos, o professor Mariano Gago disse-me que escolher trabalhar nesta área era escolher viver no estrangeiro. Hoje em dia, isto já não é verdade. Portugal tem, hoje, muito boas infra-estruturas para o estudo de Física de Partículas.” ■



**Figura:** Participantes da *Lisbon mini-school on Particle and Astroparticle Physics*, na solarenga Costa da Caparica.



# Desvendar os mistérios do núcleo

## A experiência COMPASS @ CERN

por Pedro Gomes, aluno do 3º ano do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST

**O** ano era 1986. Passados 32 anos da fundação do *Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire*, mais conhecido sob a sigla CERN, a partir da iniciativa de professores do pólo do ensino superior em Lisboa (nomeadamente do Instituto Superior Técnico e da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa) e de Coimbra, foi, institucionalmente, criado pela Junta Nacional de Investigação Científica e Tecnológica e o Instituto Nacional de Investigação Científica o LIP: o Laboratório de Instrumentação e Física de Partículas. O LIP é um laboratório dedicado ao estudo da Física das Altas Energias, e à instrumentação que a ela se encontra associada, e apresenta uma enorme importância no que toca ao desenvolvimento da investigação científica no nosso país: foi o primeiro organismo português a aderir a uma entidade científica internacional, e impulsionou grandemente o desenvolvimento da investigação e formação no ensino superior. Após 30 anos da sua criação, o LIP cresceu, desenvolveu-se e expandiu-se, apresentando atualmente três delegações – Lisboa, Coimbra e Minho – e conta com mais de uma centena de investigadores, distribuídos pelos diferentes grupos de Física e de Tecnologia. É um laboratório de elevado prestígio internacional, com uma avaliação extremamente positiva por parte de outras entidades internacionais.

Em Julho de 2012, após uma exaustiva e minuciosa análise dos dados recolhidos das experiências ATLAS e CMS – duas das experiências do famoso *Large Hadron Collider*, o maior e mais potente acelerador de partículas do mundo – foi anunciada a existência de uma nova partícula, cuja descoberta viria a ser considerada uma das maiores descobertas científicas do século XXI: o bóson de Higgs. Com a revelação da muitas vezes alcunhada “partícula de Deus”, o CERN e o tão aclamado bóson andaram na boca do mundo, percorreram jornais e noticiários, provocaram um

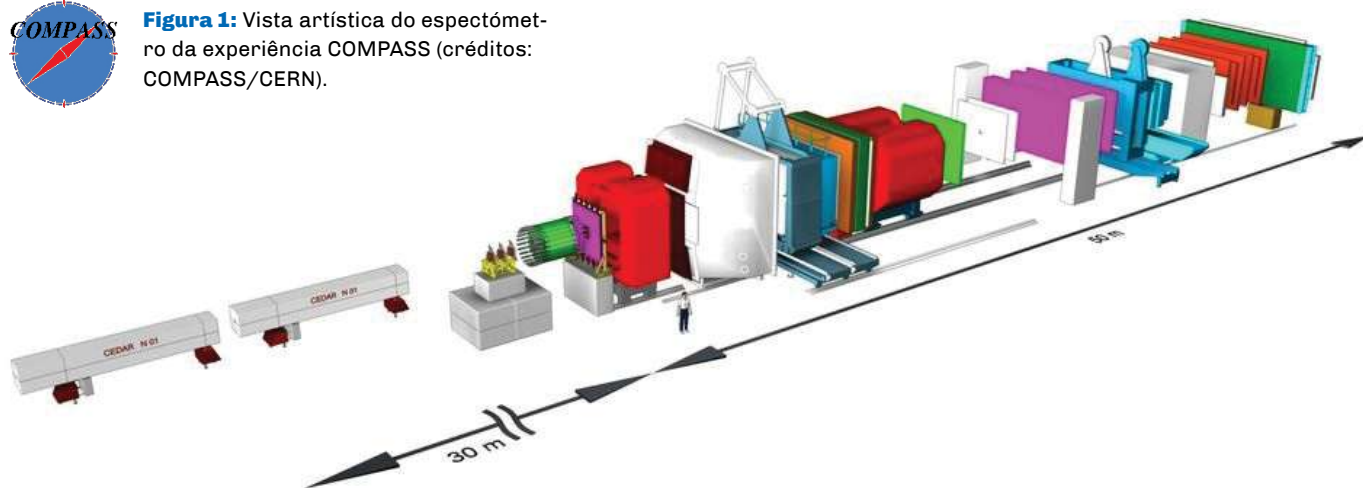
entusiasmo sem precedentes na comunidade científica, e deixaram a ferver a curiosidade daqueles que eram mais leigos no assunto, mas tinham sede de conhecimento. A descoberta do bóson de Higgs foi, indubitavelmente, um marco na história da ciência e da física de partículas. Todavia, um indivíduo mais desconhecedor poderia, erradamente, pensar que a experimentação no CERN se resume às descobertas científicas no LHC, e que por aí termina, que qualquer descoberta científica feita após o bóson de Higgs seria de carácter insignificante, ou até desprovida de qualquer interesse. Claramente, isto não é verdade. De momento, encontram-se sediadas no CERN um total de 26 experiências, das quais somente 6 se encontram associadas ao LHC. Destas 26, o LIP colabora nas experiências ATLAS, CMS, e COMPASS. A responsável do LIP pela experiência COMPASS é a investigadora Paula Bordalo (uma das fundadoras do LIP), também professora no Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa. Tomei, portanto, a iniciativa de mostrar que existe CERN para além do LHC, pedindo à professora Paula que, numa breve entrevista, explicasse um pouco em que consiste a experiência COMPASS.

### PULSAR [P] – Qual foi a motivação para o desenvolvimento da experiência COMPASS?

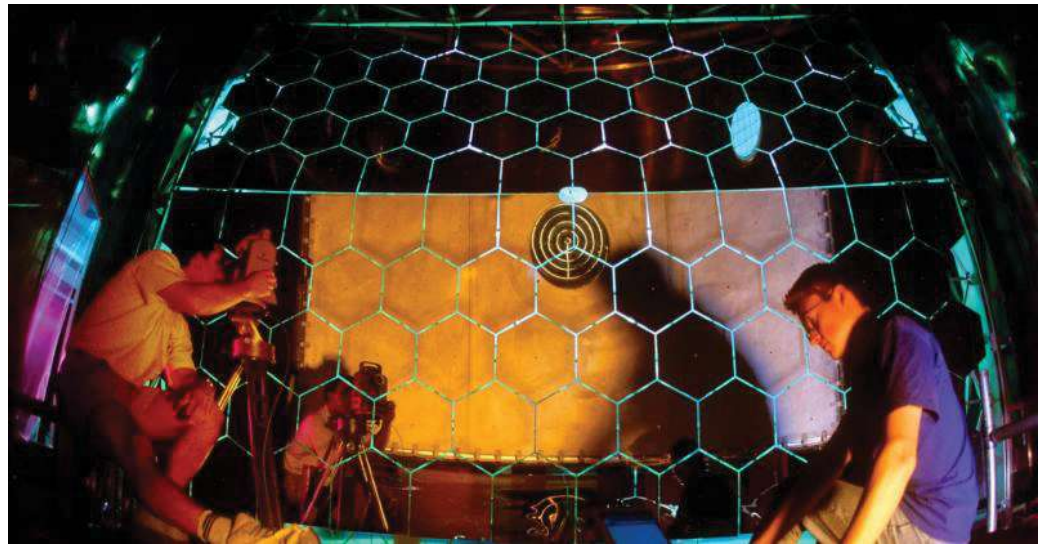
**Paula Bordalo [B]** – Qualquer experiência vem de uma linha de pensamento de pessoas que estão interessadas num determinado assunto e que se juntam de forma a explorá-lo. A “avó” da experiência COMPASS é a experiência EMC, *European Muon Collaboration*, uma experiência dos anos 80, que pretendia saber qual era a contribuição para o spin do núcleo vinda dos quarks. O modelo dos quarks já se encontrava há muito em vigor; já existia a Cromodinâmica Quântica, e toda a gente sabia que o próton era constituído por dois quarks *up* e um quark *down*. Quando



**Figura 1:** Vista artística do espectrómetro da experiência COMPASS (créditos: COMPASS/CERN).



**Figura 2:** Espelho UV no detector COMPASS.  
(créditos: CERN)



se tentou medir a contribuição destes três quarks para o spin do nucleão, ele estava altamente deficitário: só havia uma contribuição de 12%. Estes resultados da experiência EMC foram uma revolução enorme na altura. Esta questão ainda hoje está aberta: de onde vem o spin do nucleão? É justamente a essa pergunta que queremos responder.

**P – Considerando o percurso que a experiência tem vindo a ter ao longo de todos estes anos, quais foram as datas mais marcantes?**

**B –** À experiência EMC seguiu-se a experiência chamada NMC, *New Muon Collaboration*. Esta experiência questionou muito a origem da composição do protão, e, nomeadamente, o seu conteúdo em spin. No seguimento da experiência NMC, foi desenvolvida a SMC, *Spin Muon Collaboration*, em que já foi utilizado um alvo polarizado. Como se sabia, um outro componente da matéria hadrónica é o glúão, o bóson que intervém na interacção forte. Ora, com polarização do alvo, era possível prospectar qual a contribuição do glúão para o spin do nucleão. A parte interveniente dos quarks encontrava-se medida, portanto, acreditava-se que a parte restante era proveniente dos glúões. Esta experiência não teve estatística suficiente para certas regiões cinemáticas, e já se pensava numa sucedânea para SMC, de forma a continuar nessa linha. Acontece que, do lado da Espectroscopia Hadrónica, havia várias experiências importantes com resultados. No ano de 1996, o CERN queria investir maior parte do dinheiro em LHC, e recusou-se a contribuir para estas duas experiências, com a justificação que havia muitas propriedades em comum nos detetores de ambas, sugerindo, por isso, uma união. Foi um argumento económico. Daí surgiu COMPASS, uma experiência com duas raízes fundamentais: uma ligada à estrutura do nucleão e outra ligada à Espectroscopia Hadrónica, o que justifica a sua sigla – *Common Muon and Proton Apparatus for Structure and Spectroscopy*. Uma grande vantagem desta união foi o reaproveitamento de certos detetores, porque foi algo que poupou imenso dinheiro, e as ideias acabaram por não ser impedidas a meio ou abortadas no início.

A experiência demorou ainda vários anos até ter espectrómetro completo. Em 2002 conseguiu parte dele que já permitia a tomada de dados. Este foi um ano de grande crise em Portugal, e corresponde também a um ano de

grande mudança de programa no CERN. Entre 2000 e 2002 as experiências de iões do CERN estavam a terminar a tomada de dados, assim como o LEP [*Large Electron Positron Collider*], e a ideia era que as pessoas que estavam nas experiências de iões e de LEP iam engrossar nas fileiras das duas experiências de LHC. Portugal estava interessado em ambas por uma questão das competências dos investigadores. Com a grande crise, não houve fundos monetários para os projectos, o que levou também a um ano de crise terrível do ponto de vista da investigação. Começámos, portanto, a pensar para onde nos poderíamos virar, porque neste caminho não havia futuro científico, e decidimos olhar para o panorama do que havia no CERN. Havia duas coisas que nos interessavam particularmente: uma era COMPASS, e a outra a experiência NA58. Convidámos dois porta-voz de cada uma destas experiências, realizámos seminários, e daí resultou um grupo pequeno de pessoas do LIP que se propôs a COMPASS. Entrámos em conversações, e foi mesmo na “hora H”, porque no final desse ano estava a ser testado o novo espectómetro e a serem tomados dados. O próprio COMPASS propôs que tinha um bom nicho para nós, porque é fundamental ver que o físico experimental tem sempre duas competências a tomar numa experiência: uma responsabilidade técnica ou tecnológica e a responsabilidade de contribuir para a análise da física. Nenhuma delas é de descuar. Ora, se o espectómetro não estava completo, mas pronto para tomar dados, o que poderíamos fazer? De facto, havia uma coisa da qual nenhum laboratório se encontrava responsável, que era o DCS, *Detector Control System*. Portanto, o porta-voz e o coordenador técnico propuseram que o LIP tomasse a responsabilidade do sistema de controlo de detetores de COMPASS.

Entretanto, medimos a contribuição do glúão para o spin do nucleão. Mais uma vez, não era suficiente: a contribuição dos glúões para o spin do nucleão era compatível com zero. Neste momento, após medições mais precisas com SMC e COMPASS, os quarks só descrevem 30% do spin do nucleão. Em 2007 COMPASS havia começado a desenvolver a ideia de medir o gráfico do processo Drell-Yan, uma aniquilação entre quark e anti-quark, da qual resulta um fóton virtual, porque tem massa, que se desintegra num lépton e num anti-lépton. Veio portanto a ideia de usar o



espectómetro de COMPASS para medir isto, usando prótons num alvo polarizado, coisa que nunca antes tinha sido feita. Nesse mesmo ano, usando um feixe de teste, tomámos dados em 3 dias, apenas. Em 2009 é que se tratou de um feixe de teste bastante importante, em que se tirou muitos resultados. Nesse ano o CERN, que já tinha bem encarregado LHC, resolveu fazer um workshop que chamou futuras oportunidades de física para além de LHC. Então, entre 2009 e 2010 construímos uma proposta que incluía o gráfico de Drell-Yan com alvo polarizado, e incluía também a ideia de uma nova contribuição para o spin do nucleão: a contribuição do momento angular orbital, quer dos quarks, quer dos glúons. Essencialmente, a proposta de COMPASS que andava a ser gisada há já alguns anos foi apresentada em 2010 ao comité científico do CERN, que a aprovou. O director científico do CERN da altura, um grande fã de COMPASS, afirmou que esta experiência demonstrava que havia vida para além de LHC! No ano de 2012 iniciou-se a 2ª fase da experiência, que assenta nas ideias apresentadas na proposta de 2010.

#### **P – Qual o papel do LIP na experiência COMPASS?**

**B –** Formalmente, entrámos no dia 1 de Janeiro 2003 em COMPASS, mas obviamente aproveitámos a tomada de dados de 2002 para ter uma ideia do que estava a acontecer. Começámos com três pessoas, e agora estamos quase uma dezena. De facto, sinto bastante orgulho, porque demos uma volta bastante grande no sistema de controlo de detectores. O DCS estava muito orientado para a parte de hardware. Deixámos o que herdámos, pois como as tomadas de dados são muito longas, o desenvolvimento da tecnologia tem de ser feito em períodos nos quais a experiência não esteja a decorrer, que são relativamente curtos. No ano de 2005 demos a volta completa, e focámo-nos nos detectores e não no hardware. O esquema foi todo repensado e refeito, e aí teve um impulso enorme. Os colegas, sobretudo aqueles que são peritos em detectores, ficaram bastante satisfeitos. Este sistema DCS serviu como banco de ensaio para sistemas destes nas experiências no LHC. Na proposta que foi apresentada em 2010, como já

mentionei, é que LIP teve um papel absolutamente fundamental. Fomos nós, em COMPASS, no ano de 2015, que estudámos pela primeira vez o gráfico de Drell-Yan com alvo polarizado. Foi uma primeiríssima mundial. LIP, de par com Turim, foram os dois grandes impulsionadores desta linha de investigação que estamos a ter actualmente. Aqui no LIP tínhamos uma competência muito grande para projectar uma experiência Drell-Yan, o que revolucionou bastante o espectómetro de COMPASS. Acompanhámos vários estudantes para teses de doutoramento, que entretanto cresceram e foram incorporados na equipa, e tivemos um papel bastante relevante para a 2ª fase de COMPASS. A experiência teve artigos, apresentações em conferências. No meu grupo de COMPASS tenho actualmente dois pós-docs, o Celso Franco e o Luís Silva, que fizeram as teses de doutoramento em COMPASS. Ambas as teses de doutoramento, defendidas no IST, tiveram a nota máxima, com distinção. Os resultados destas duas teses constituíram um marco importante para COMPASS e para o LIP, obviamente!

#### **P – Qual a física sobre a qual esta experiência se apoia?**

**B –** A física por trás desta experiência é a Cromodinâmica Quântica.

#### **P – Até este momento, a análise de dados realizada permitiu alcançar alguma conclusão? O futuro parece promissor?**

**B –** Sim, absolutamente! Por vezes, existem resultados experimentais que impulsionam imenso a teoria. Portanto, quem sabe se não fazemos uma nova descoberta! Estamos neste momento a pensar numa 3ª fase de COMPASS, já depois de 2018, após o final desta 2ª, que ainda requer algum tempo para a tomada de dados. Como já vimos, até agora só se sabe a origem de 30 % do spin do nucleão. As ideias para os restantes 70% vêm do momento angular orbital de umas partículas constituintes do nucleão relativamente a outras. O que estamos agora a dizer é que o spin vai ter mais uma componente: a do angular orbital, quer dos quarks, quer dos glúons (de uns em relação aos outros). Fundamentalmente, a parte dinâmica. ■



**Figura 3:** Paula Bordalo, professora no Instituto Superior Técnico e investigadora no Laboratório de Instrumentação e Física de Partículas, responsável pela experiência COMPASS no CERN

# Neutrinos

## Os Nobéis camaleões

por Filipe R. Joaquim, membro do Centro de Física Teórica de Partículas e professor do Departamento de Física do IST

A história dos neutrinos começa em 1930 quando Pauli propõe uma *solução desesperada* para o espectro contínuo observado no decaimento  $\beta$  de alguns elementos radioativos. A ideia de Pauli resumiu-se a considerar que, para além da partícula  $\beta$  [o eletrão ou positrão], é emitida uma partícula de spin  $1/2$  eletricamente neutra [e, portanto, *invisível*], muito mais leve do que o eletrão. Deste modo, a energia disponível aos produtos do decaimento é partilhada por duas partículas, explicando-se assim porque razão a radiação  $\beta$  não é monocromática. Tão simples como isto...

Mas o que levou Pauli a postular a existência de tal partícula a que inicialmente chamou *neutrão*? Não teria sido simplesmente mais fácil seguir a corrente de Bohr e considerar que provavelmente o princípio da conservação de energia não é estritamente válido quando estamos perante fenómenos microscópicos? Afinal, a Mecânica Quântica tem destas coisas estranhas... Na verdade, Pauli não estava disposto a abdicar da conservação da energia e, apesar de cauteloso [já que só apresentou a sua proposta em público pela primeira vez cerca de dois anos e meio depois de o ter feito por uma carta endereçada aos *Dear radioactive ladies and gentlemen* [1]], manteve-se fiel à sua ideia, mas sempre com a consciência do quão difícil seria detetar o seu *neutrão*. Após a descoberta da partícula que hoje conhecemos como neutrão por Chadwick em 1932, a partícula hipotética de Pauli passaria a chamar-se *neutrino*, nome sugerido por Enrico Fermi para o *piccolo neutrone* (pequeno neutrão).

No início dos anos 50, Bruno Pontecorvo – um Físico italiano brilhante que se tornara discípulo de Fermi em 1932 com apenas dezoito anos de idade – sugere a F. Reines e C. L. Cowen um modo de detetar experimentalmente o neutrino de Pauli. A experiência, baseada no processo de decaimento  $\beta$  inverso, acionado por [anti]-neutrinos provenientes de um reator nuclear, viria a ser desenvolvida nos Estados Unidos da América, no estado da Carolina do Sul. Em junho de 1956 (dois anos antes do falecimento de Pauli), F. Reines e C. L. Cowan Jr. enviam um telegrama a Pauli informando-o sobre a descoberta da sua partícula. Reines viria a partilhar o prémio Nobel da Física com M. L. Perl em 1995 pela deteção experimental do neutrino.

Em 1962, a existência de um novo tipo de neutrinos foi confirmada no Brookhaven National Laboratory (EUA). Nesta experiência, anti-neutrinos  $\bar{\nu}$  provenientes do decaimento de piões  $\pi^-$  foram usados, verificando-se a ocorrência da reação  $\bar{\nu} + p \rightarrow e^+ + n$ . Se estes anti-neutrinos fossem os mesmos que os emitidos no decaimento  $\beta$ , deveria observar-se o processo  $\bar{\nu} + p \rightarrow \mu^+ + n$  na mesma experiência, o que não se verificou. Então, para além do neutrino do eletrão  $\nu_e$ , teria de existir um outro tipo de neutrino – o neutrino do muão  $\nu_\mu$ . Alguns anos mais tarde, M. Perl viria a descobrir um terceiro tipo de neutrino [o

neutrino do tau –  $\nu_\tau$ ] numa série de experiências realizadas entre 1974 e 1977 no Stanford Linear Accelerator Center (SLAC). Ficava assim estabelecida a existência de três sabores distintos de neutrinos – o trio  $(\nu_e, \nu_\mu, \nu_\tau)$ . L.M. Lederman, M. Schwartz e J. Steinberger viriam a ser galardoados com o Nobel da Física em 1988 pela descoberta do  $\nu_\mu$  e, como já foi dito, Perl partilhou o Nobel da Física com Reines em 1995 pela descoberta do  $\nu_\tau$ .

Em 1957-1958, Pontecorvo propõe pela primeira vez a ideia de oscilação de neutrinos. Inspirado pela possibilidade de ocorrência de um fenómeno semelhante no setor dos mesões  $K^0$ , Pontecorvo questionou-se sobre a possibilidade de os neutrinos  $\nu$  se transformarem em anti-neutrinos  $\bar{\nu}$ , propondo assim as oscilações do tipo  $\nu \leftrightarrow \bar{\nu}$  (note-se que nesta altura apenas o neutrino  $\nu_e$  era conhecido). Só mais tarde, após a confirmação da existência do  $\nu_\mu$  e da observação de oscilações no setor dos  $K^0$ , o Físico italiano viria a propor a possibilidade de oscilações entre neutrinos de sabores diferentes, por exemplo  $\nu_e \leftrightarrow \nu_\mu$  [2]. Convém, portanto, salientar que este fenómeno foi previsto teoricamente muito antes da sua observação experimental, e que de algum modo a descoberta não foi uma surpresa.

Mas qual a Física que está por detrás do facto de os neutrinos poderem oscilar? A resposta está na Mecânica Quântica. Em Mecânica Quântica, um sistema físico é descrito por estados  $|\psi\rangle$  a que estão associados determinadas funções de onda  $\psi(\vec{r}, t)$ . Ao contrário do que acontece em Mecânica Clássica, a configuração de um sistema quântico pode ser descrita como uma sobreposição de estados quânticos distintos. É exatamente neste facto que se baseia o fenómeno da oscilação de neutrinos.

Quando produzidos por interações fracas, os neutrinos são descritos por estado próprios de sabor, por exemplo,  $|\nu_e\rangle$  e  $|\nu_\mu\rangle$ . No caso em que estes não coincidem com os estados correspondentes aos neutrinos que se propagam no vácuo na ausência de qualquer interação, os estados de massa  $|\nu_1\rangle$  e  $|\nu_2\rangle$ , os estados de sabor podem definir-se como uma sobreposição quântica do tipo

$$\begin{aligned} |\nu_e\rangle &= \cos\theta|\nu_1\rangle + \sin\theta|\nu_2\rangle, \\ |\nu_\mu\rangle &= -\sin\theta|\nu_1\rangle + \cos\theta|\nu_2\rangle. \end{aligned}$$

A questão que surge a este ponto é: Se um neutrino for produzido num determinado estado próprio de sabor com energia  $E$ , qual a probabilidade de, após ter viajado uma certa distância  $L$ , esse neutrino mudar de sabor? Ou seja, qual a probabilidade de, por exemplo,  $|\nu_e\rangle$  oscilar para  $|\nu_\mu\rangle$ ?

Um simples cálculo [que qualquer aluno que tenha frequentado um curso básico de Mecânica Quântica pode efetuar] permite chegar ao resultado:

$$P(\nu_e \rightarrow \nu_\mu) = \sin^2(2\theta) \sin^2\left(\frac{\Delta m^2 c^3 L}{4\hbar E}\right),$$

onde  $\Delta m^2 = m_2^2 - m_1^2$ . Esta simples equação matemática permite identificar de uma forma imediata as condições



para que o fenômeno de oscilação de neutrinos ocorra:

- [1] Os neutrinos têm que ter massas diferentes e não nulas;
- [2] Os estados de massa não podem coincidir com os estados de sabor, i.e. os diferentes sabores de neutrinos misturam-se entre si ( $\theta \neq 0$ );
- [3] Para oscilarem, os neutrinos têm que percorrer uma certa distância  $L \neq 0$ .

A primeira evidência experimental a favor da ocorrência da oscilação de neutrinos surge nos anos 60 na experiência Homestake, situada no estado Americano da Dakota do Sul. Esta experiência, destinada à detecção de neutrinos provenientes do Sol através do processo de decaimento  $\beta$  inverso em átomos de  $^{37}\text{Cl}$ , mediou um fluxo de neutrinos que correspondia a cerca de 30% do fluxo previsto pelos modelos solares, ou seja, faltavam neutrinos! A esta discrepância chamou-se o *problema dos neutrinos solares*. O mesmo tipo de anomalia associada a neutrinos solares surgiu posteriormente nas experiências GALLEX/GNO (Itália) e SAGE (Rússia) nos anos 90. Em 1989, a experiência Kamiokande (Japão) anuncia os primeiros resultados que mostram a existência de um deficit no fluxo de neutrinos atmosféricos face ao esperado.

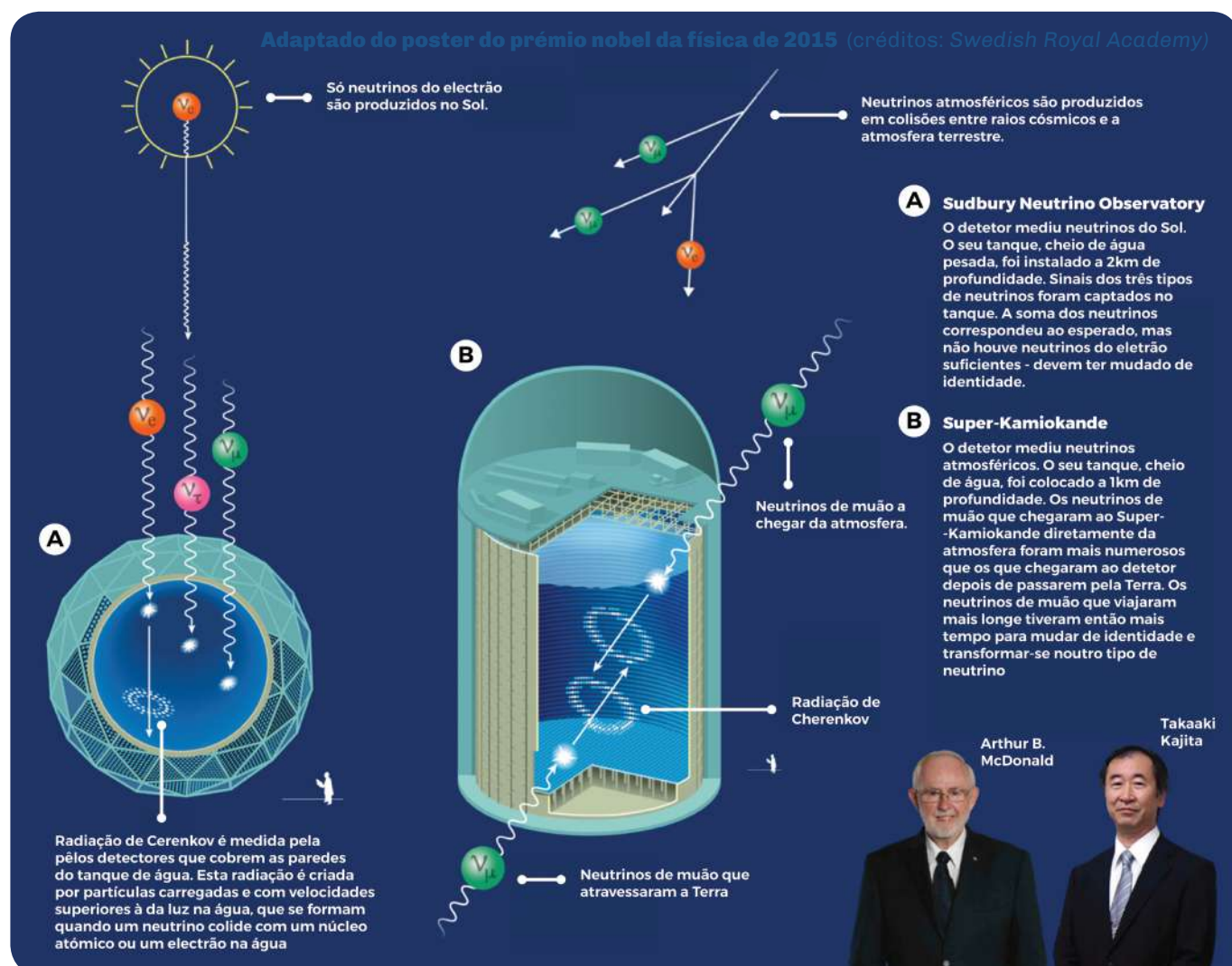
A confirmação definitiva de que o desaparecimento dos neutrinos solares é devido à oscilação de neutrinos surgiu com os dados da experiência *Sudbury Neutrino Observatory* (SNO), que demonstraram o caráter camaleónico dos neu-

trinos emitidos nas reações de fusão nuclear que ocorrem no Sol. O mesmo viria a ser verificado para os neutrinos atmosféricos na experiência Super-Kamiokande (Japão). Posteriormente, o mesmo fenômeno foi observado usando neutrinos de várias fontes, nomeadamente reatores nucleares e aceleradores. Em 2015, Takaaki Kajita [experiência Super-Kamiokande] e Arthur B. McDonald [experiência SNO] foram galardoados com o prémio Nobel da Física pela descoberta experimental das oscilações de neutrinos, confirmando, assim, o que Pontecorvo tinha previsto.

Do ponto de vista teórico, a descoberta da massa dos neutrinos contradiz o Modelo Padrão (MP) da Física de Partículas onde os mesmos não têm massa. Portanto, a confirmação das oscilações de neutrinos constitui uma prova irrefutável de que existe física para além do MP, Física essa que poderá, por exemplo, ser responsável pela nossa própria existência [3]. Com o desenvolvimento de novas experiências nas fronteiras da energia, intensidade e cosmologia, o futuro dirá que outras surpresas os camaleões do espaço têm reservadas... ■

### Referências

- [1] <http://www.symmetrymagazine.org/article/march-2007/neutrino-invention>
- [2] "Bruno Pontecorvo and Neutrino Oscillations", S. Bilenky; *Advances in High Energy Physics*, Article ID 873236, Vol. 2013 (2013).
- [3] "Leptonic CP Violation", G.C. Branco, R. González Felipe, F. R. Joaquim; *Reviews of Modern Physics*, Vol. 84 (2012) 515-565.



## A group of five comic book characters. On the left is a red, multi-limbed alien-like creature. Next to it is a man with glasses, a white shirt, and brown pants, in a dynamic pose. Behind him is a man in a grey coat holding a red apple. To his right is a man in a brown coat, also in a dynamic pose. On the far right is a woman in a black dress with a radiation symbol on her chest, surrounded by yellow energy bursts.

*"O Som da Gaffe" por Duarte David, 2º ano da Licenciatura em Eng. Informática e de Computadores, IST*

## A Morte de Gwen Stacy

Mas como poderia Spider-Man ter salvo Gwen? Uma ideia seria lançar-se da ponte com alguma velocidade inicial e apanhá-la durante a queda. Assumindo que ele salta com uma velocidade inicial de 30km/h, um segundo depois

Esperemos que estas ideias ajudem o jovem Peter Parker em futuros salvamentos e que tenha melhor sucesso, agora que sabemos um pouco mais de física. ■



PULSAR 16



## O Som da Gaffe

Gaston Lagaffe é o essencial “baldas” da banda-desenhada franco-belga. Em teoria, ele trabalha num jornal, o Jornal Spirou, mas claro está que ele nunca trabalha. Quando os seus colegas têm muita, muita sorte, ele passa os dias a dormir. Mas às vezes não têm tal sorte, e Lagaffe entra em períodos de hiperatividade, durante os quais se dedica a fazer demonstrações práticas dos seus inventos - para grande desgraça dos seus colegas, para grande delícia dos leitores. Resume-se a isto: ele é um desastre ambulante.

Um desses inventos é algo tão inofensivo como um instrumento musical. Mas não. (Pouco efeito cómico teria se fosse, de facto, inofensivo). Este instrumento musical de proporções gigantescas, o Gaffofône, tem uma particularidade: um simples toque numa das cordas produz tal som que destrói um andar da Redação Spirou.

Naturalmente, os colegas e chefes de Lagaffe não podem permitir isto, e depressa o obrigam a sumir-se com o instrumento..., mas, ao serem ambos transportados para longe da redação, Lagaffe decide que, na parte de trás de uma pick-up e ao ar livre, não haverá qualquer mal em produzir o seu som melodioso... Está completamente errado. Um toque numa das cordas e lá se vai a carrinha.

Poderá alguém causar tanta desgraça na vida real?

É bem sabido que o som é uma onda, que se propaga oscilando as partículas do ar. Isto significa que o som pode forçar oscilações em materiais. E sabe-se também que um sistema tem certas frequências (tantas quantos graus de liberdade) chamadas frequências de modos normais. Se o sistema for forçado com uma das suas frequências de modos normais, diz-se que este está em ressonância e a amplitude da sua oscilação explode para infinito!

Mas não é bem assim. De uma forma ou de outra, todos os sistemas reais têm atrito. Este atrito impede as oscilações de explodirem para infinito - o sistema é amortecido. É também preciso notar que quem desenha carros e edifícios está ciente disto tudo, e, portanto, vai fazer os possíveis para impedir que as suas criações oscilem catastroficamente com tudo quanto poderia forçar oscilações (vento, terremotos, a vibração de andar na estrada...).

Ora, se os nossos objetos de estudo resistem a estas oscilações de tanta amplitude e tão variadas frequências, não será o som que os destruirá, por mais forte e mais afinado que esteja. Já houve muito dinheiro investido em pesquisa de armas sónicas, e, por mais certa que a frequência seja, nunca se conseguiu uma amplitude suficientemente forte

para destruir edifícios ou veículos, simplesmente porque nos materiais existem demasiadas perdas. Para além disso, eles não são puros (isto é, o material não vai vibrar todo na mesma nota - é a razão pela qual se partem copos de cristal com a voz, mas o mesmo não funciona com copos de vidro). Portanto, neste momento, armas sónicas como a que Lagaffe nos proporciona estão exclusivamente no domínio da ficção científica.

Mas isso não é tudo. Apesar de não existirem armas sónicas que derrubem edifícios, já há armas sónicas que funcionam em pessoas, usadas como métodos não-letais de controlo de multidões. Nem sequer é preciso chegar a armas para ver nefastos efeitos sónicos em pessoas.

Nos anos 80, havia relatos de um fantasma num laboratório. O engenheiro Vic Tandy sentia uma sensação de desconforto - frio, suores, e uma sensação de depressão - enquanto trabalhava num laboratório de uma empresa de equipamento médico. A dada altura, julgava ver algo pelo canto do olho. As pessoas achavam que o laboratório estava assombrado.

Na realidade, era apenas uma nova ventoinha que causava uma onda sonora estacionária (ressonante) de 19 Hz, devido ao comprimento ideal do laboratório. Acontece que ondas estacionárias próximas dessa frequência, mesmo com uma amplitude não muito forte, são fantásticas para colocar as várias partes dos nossos corpos em oscilação, mexendo com os nossos sentidos e criando a impressão de um fantasma. E onde é que isso deixa o nosso pequeno Gaston?

Ora bem: depois de ter quebrado o transporte do seu Gaffofône, Gaston não teve outra escolha senão retornar à Redação Spirou com o seu Gaffofône. A reação não foi positiva. Gaston foi enfiado para dentro do próprio instrumento, a servir de surdina enquanto o seu chefe tocava intensamente a sua própria “melodia”.

Lembremo-nos também que, na vida real, não há ondas sonoras com amplitude suficiente para derrubar edifícios. Se estas são suficientemente fortes para derrubar edifícios, a única esperança é que a sua frequência não ressoe com os órgãos de Lagaffe. Mas sejamos positivos.

Em 2013, o Departamento de Defesa dos Estados Unidos da América gastou 63 mil milhões de dólares em pesquisa e desenvolvimento de armas. Se apenas uma pequena fração desse dinheiro tivesse ido para a Redação Spirou, talvez Gaston Lagaffe tivesse sido o seu empregado mais lucrativo. ■



Figura 2: Tira retirada de “Gaston LaGaffe” (créditos: Marsu Productions).

# A verdadeira dieta Mediterrânica

por Rita Teixeira da Costa, aluna do 3º ano do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST

“Somos o que comemos”, dizem os nutricionistas, alarmados com a (não assim tão) lenta transformação do mundo ocidental num BigMac. Mas, mais do que um ditado palerma, esta epígrafe mostra que as opções à mesa não são meras escolhas pessoais, mas o resultado do nosso enquadramento socio-cultural, religioso e até geográfico. Por isso mesmo, os estudos dos padrões alimentares tem uma importância fulcral na caracterização do estilo de vida de civilizações antigas.

Neste artigo, exploramos o trabalho do Laboratório HERCULES relativo à dieta e estilo de vida dos romanos em *Pax Iulia*, em Portugal.



**D**e acordo com relatos escritos e dados arqueológicos já recolhidos, pensa-se que os cereais seriam a base da dieta romana, tendo o azeite, vinho e legumes secos um destaque preponderante, enquanto as proteínas animais (escassamente ingeridas) seriam obtidas da carne de porco e vaca, produtos lácteos e peixe. Através da expansão do império romano, o modo de vida romano foi-se fundindo, lentamente, com o dos povos anexados.

No projecto HEROICA (2012-2015), a equipa do Laboratório HERCULES teve por objectivo clarificar o efeito da romanização sobre o estilo de vida – e, em particular, a dieta, estado de saúde e mobilidade – dos habitantes de *Pax Iulia* (actualmente, Beja) e da zona rural envolvente durante os sete séculos de ocupação romana. O estudo foi feito através da análise dos resíduos orgânicos em cerâmicas e da caracterização de ossadas romanas da região.

## Espreitar as ânforas

A cerâmica é um material poroso, que pode reter a assinatura química, ou conjunto de biomarcadores, dos produtos alimentares aí armazenados ou cozinhados e, por isso, fornece dados importantes quanto à dieta dos seus donos. No Laboratório HERCULES, os resíduos orgânicos recolhidos de várias ânforas romanas e cerâmica de uso comum foram submetidos a análise por cromatografia gasosa com espectrometria de massa [*Funcionamento do GC-MS*].

Com esta análise, foi possível identificar ácidos gordos saturados e insaturados e produtos da sua degradação, bem como elevadas quantidades de esteróides vegetais e vestígios de colesterol [*Química 101*]. Estas moléculas sugerem a utilização das ânforas para armazenar óleos vegetais. Graças à presença em várias ânforas de um ácido

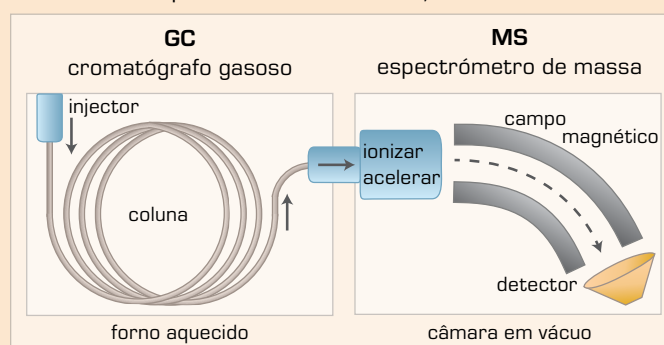
## Funcionamento do GC-MS

O GC-MS é composto por dois aparelhos acoplados: um cromatógrafo gasoso e um espectrómetro de massa.

No cromatógrafo gasoso (GC), um volume conhecido de amostra líquida ou gasosa é injectado na entrada da coluna, um tubo de vidro estreito com um comprimento que pode chegar aos 100 m e com o interior revestido com um material denominado de fase estacionária. A coluna é colocada dentro de um forno com temperatura regulável. Um fluxo de hélio (sendo este gás denominado a fase móvel) arrasta os constituintes da amostra, que seguem ao longo da coluna, a diferentes velocidades dependendo da maior ou menor interacção com as moléculas do material que constitui a fase estacionária. Como cada molécula da amostra interage de forma diferenciada com a fase estacionária, devido às suas propriedades físico-químicas, os constituintes da amostra são assim separados ao longo da coluna. O tempo de retenção na coluna (tempo decorrido até saírem da coluna) é uma característica de um composto químico em determinadas condições cromatográficas.

Num GC-MS, os diferentes tempos de retenção das moléculas no GC permitem ao espectrómetro de massa (MS) analisar cada uma separadamente. Este aparelho vai, assim, fragmentar e ionizar cada molécula deste pacote,

acelerar os fragmentos por aplicação de um campo eléctrico forte e, finalmente, através de um campo magnético, separar os pedaços de acordo com a sua razão massa/carga [ $m/z$ ]<sup>1</sup>. Para cada composto químico, vai obtém-se um espectro de massa [ $m/z$  vs. contagens correspondentes] que pode ser considerado como um BI desse composto: a sua comparação com o de compostos puros que constituem diversas bases de dados permite, na maioria dos casos, a identificação da estrutura química de cada composto individual. A utilização do tempo de retenção de cada composto pode ser usada como informação complementar neste processo de identificação.



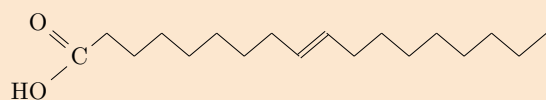
**Figura 1:** Esquema de um cromatógrafo gasoso (GC) acoplado a um espectrómetro de massa (MS).

<sup>1</sup>Para uma informação mais detalhada acerca dos princípios físicos do MS, sugere-se a consulta da Pulsar34.



## Química Orgânica 101

Um ácido gordo (ver abaixo) é um hidrocarboneto alifático de longa cadeia, em que um dos grupos  $\text{CH}_3$  das pontas foi substituído por um grupo ácido ( $\text{COOH}$ ). Diz-se que um ácido gordo é insaturado quando a cadeia apresenta pelo menos uma ligação dupla (ou tripla) entre átomos de carbono, e saturado caso contrário. Os ácidos gordos saturados são encontrados principalmente em gordura animal; os insaturados encontram-se mais em plantas e no peixe.



**Nota:** Nesta representação, cada átomo de carbono corresponde a um vértice do desenho, e são suprimidos os átomos de hidrogénio.

gordo particular, o ácido erúico, foi possível concluir que aquelas teriam sido utilizadas para o transporte de óleo de *Brassicaceae* (por exemplo, colza e mostarda).

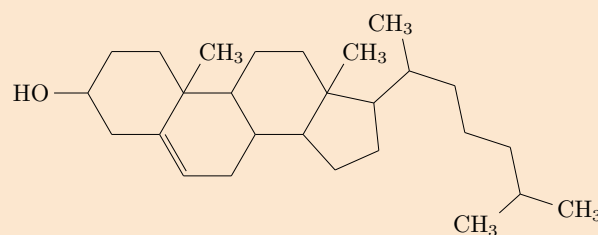
Nas amostras estudadas, verificou-se, ainda, em todas, a presença de vários derivados do ácido abiético, biomarcadores resultantes do aquecimento de resinas de árvores da família do pinheiro para formação do pez com que as ânforas eram impermeabilizadas.

## Ossos instáveis?

Literalmente, somos o que comemos: o tecido ósseo é continuamente renovado ao longo da nossa vida, e os átomos dos elementos químicos que o constituem vão sendo continuamente trocados pelos que ingerimos na nossa comida. Estes elementos químicos têm diferentes isótopos<sup>2</sup> e estes não se comportam de forma igual durante as reacções químicas.

Comecemos pelas plantas. O processo de fotossíntese que aprendemos detalhadamente enquanto alunos, dito em  $\text{C}_3$ , não é seguido por todas as plantas. Um método que se pensa ser mais recente é o processo em  $\text{C}_4$ , que faz uso de uma enzima mais eficiente do que a usada em  $\text{C}_3$  para fixar

Os esteróides são compostos com 17 átomos de carbono dispostos em 4 anéis ligados entre si. O colesterol (ver abaixo) é um esteróide encontrado em abundância nas membranas celulares animais, e em quantidades vestigiais em células vegetais.



o carbono. Como as plantas em  $\text{C}_3$  e em  $\text{C}_4$  não concordam na escolha sobre os isótopos estáveis de carbono ( $^{12}\text{C}$  ou  $^{13}\text{C}$ ) a fixar nos açúcares, a análise isotópica do colagénio (tecido orgânico) ósseo permite, em muitos casos, identificar o tipo de espécies vegetais ingeridas pelo indivíduo.

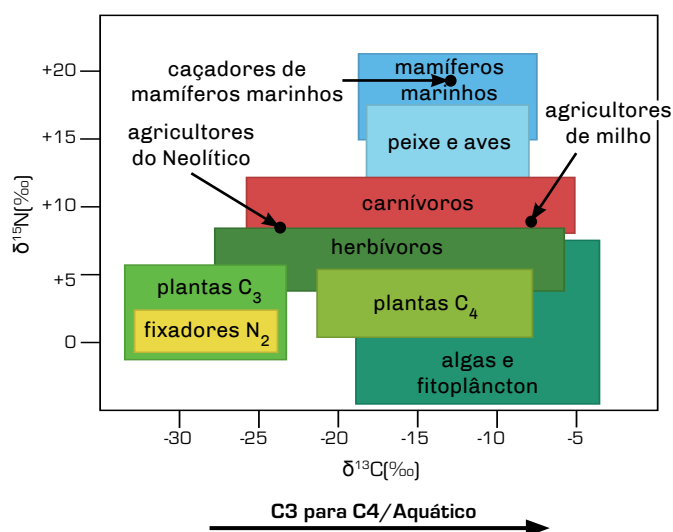
Mas nós não somos herbívoros, pelo que também somos afectados pela composição isotópica dos animais que ingerimos, e esta depende das suas presas, etc. Os isótopos de azoto ( $^{14}\text{N}$  e  $^{15}\text{N}$ ) estão relacionados com o nível trófico do animal, reflectindo também se ele é proveniente de ambiente terrestre ou marinho. Assim, é a conjugação destes dados com os dos isótopos de carbono que vai ser determinante no estudo da dieta humana.

## Ossos e dentes em andamento

A análise isotópica, contudo, permite retirar mais dados sobre o modo de vida das populações, em particular, sobre a mobilidade dos indivíduos. Utilizando-se o tecido inorgânico dos ossos (bioapatite), e analisando as razões dos isótopos de oxigénio,  $^{18}\text{O}$  e  $^{16}\text{O}$ , cujas quantidades relativas dependem da localização geográfica (latitude, longitude e distância à costa) do reservatório de água de que se servia o indivíduo, é possível ter uma percepção do seu local de residência desse.

No entanto, utilizando isótopos de estrôncio, é possível extrapolar informações mais conclusivas sobre a mobilidade humana. O estrôncio tem vários isótopos estáveis, entre os quais o  $^{86}\text{Sr}$  e o  $^{87}\text{Sr}$  e pode substituir alguns átomos de cálcio na bioapatite. Na formação dos ossos e dentes, ambos são incorporados em proporções que reflectem o quociente  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  da região geológica onde o indivíduo se encontrava aquando do desenvolvimento destes tecidos. Sem grandes alterações na idade adulta, os dentes mantêm a impressão digital do local onde o indivíduo passou a infância; pelo contrário, os ossos, encontrando-se em permanente renovação, têm impressa a marca do local onde este faleceu. Através das variações nestes valores, é possível identificar padrões migratórios nas populações.

Hoje em dia, a globalização da distribuição de produtos alimentares tornou estas técnicas de análise obsolutas. Assim, para facilitar o trabalho dos futuros cientistas e antropólogos, nada de água Perrier com bife Kobe! ■



**Figura 2:** Contributo das razões isotópicas  $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$  e  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  (maiores valores de  $\delta$  correspondem a menor concentração do isótopo pesado) para o estudo das dietas.

<sup>2</sup>Isótopos são espécies químicas com igual número de prótons (o mesmo elemento químico), mas diferente número de neutrões no núcleo.

# Arago, Fresnel, Poisson

## ...e o seu ponto

por Gustavo Marques, aluno do 1º ano do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST

A pergunta “Qual é a natureza da luz?” assombrou físicos e filósofos durante séculos e que só viria a ser respondida no século XX. No entanto, um século antes três físicos achavam que tinham descoberto a resposta.

São famosas as disputas científicas que existiam entre Newton e Hooke: ambos os cientistas se acusavam mutuamente de roubo de ideias, entre as quais a agora chamada Lei de Hooke e a Lei da Gravitação Universal. De facto, esta desavença começou muito cedo, com uma das primeiras contribuições de Newton para a Física. Vamos perceber porquê.

Hooke, que era 7 anos mais velho que Newton, pertencia à Royal Academy of Sciences desde o seu nascimento e tinha, por isso, uma grande reputação. Em tudo diferente do seu rival, Hooke gostava de investigar várias áreas científicas, desde a Física à Biologia, e tinha uma ideia muito firme sobre a luz: que esta era uma onda. Ora, em Fevereiro de 1672, quando Newton apresentou à referida instituição o seu livro *Opticks*, em que expunha detalhadamente o seu trabalho sobre a natureza da luz, também desafiava Hooke e o seu prestígio, uma vez que explicava vários fenómenos óticos, como a refração, difração e dispersão partindo do princípio de que a luz era uma partícula. Hooke rapidamente condenou o artigo do seu colega, elogiando-o apenas em tom condescendente e atacando os seus métodos e conclusões.

Passados quase dois séculos, corria o ano de 1818 e a Académie de Sciences anunciou uma competição científica que tinha como objetivo mobilizar vários físicos para o estudo da luz. Embora prevalecessem na altura as ideias de Newton, ainda muitos cientistas apostavam na teoria ondu-

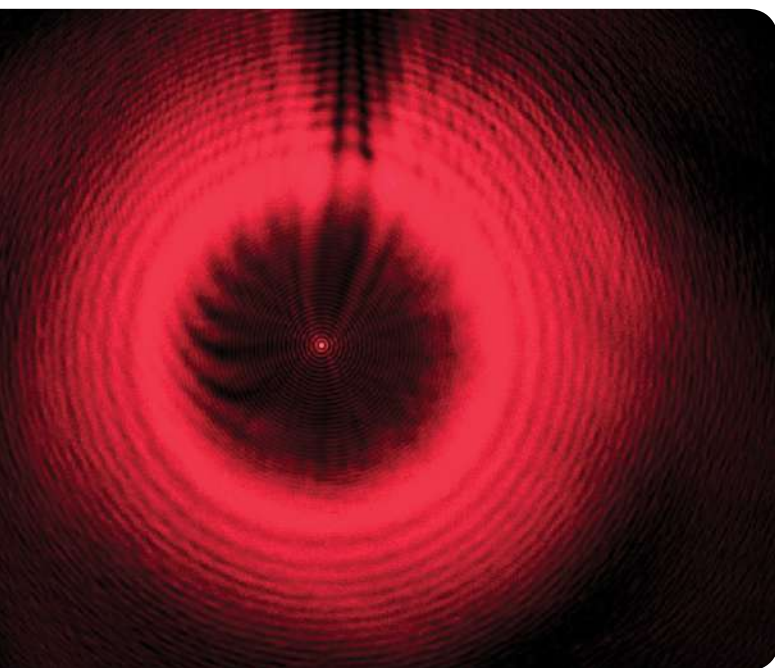
latória, incluindo o engenheiro civil francês Augustin-Jean Fresnel, que entrou na competição apresentando a sua nova teoria ondulatória da luz. No painel de jurados encontrava-se o físico teórico Siméon Denis Poisson, que apoiava com unhas e dentes a teoria corpuscular de Newton, tendo-se então empenhado em refutar as ideias de Fresnel; depois de as estudar, o teórico pensava ter encontrado o calcanhar de Aquiles da teoria ondulatória: se o engenheiro estivesse correto, a sua conjectura tinha como consequência a formação de um ponto extremamente brilhante no centro da sombra de objetos circulares ou esféricos, uma vez que a luz difrataria à volta do objeto e, porque o centro da sombra é equidistante de todos os pontos da borda desse objeto, a luz deveria interferir construtivamente no centro, criando o dito ponto; ora como isto não acontecia, a sua hipótese estaria errada. Fresnel aceitou a crítica e o assunto ficou arrumado.

Mas não. O terceiro interveniente da nossa história, Dominique-François-Jean Arago – que mais tarde viria a ser primeiro-ministro de França e que era presidente do comité –, não ficou contente e, dado que era experimentalista, resolveu realizar a experiência, tendo usado um disco metálico de 2 mm e conseguido, de facto, observar o ponto brilhante, o que convenceu a maioria dos cientistas da natureza ondulatória da luz e acabou por valer a Fresnel o prémio. Arago notou mais tarde que este fenómeno já tinha sido observado quase um século antes, nos telescópios de Delisle e Maraldi.

Este ponto luminoso é muitas vezes chamado ponto de Fresnel ou ponto de Arago, mas ficou mais conhecido como ponto de Poisson, uma maldição para o físico cujo nome acarretará para sempre com um dos seus grandes fracassos. É claro que o facto de ter tirado conclusões tão pouco premeditadas é justificável: para que o ponto de Poisson se possa observar, o objeto tem que ser absolutamente esférico, a luz tem que estar em fase e provir de uma fonte de luz pontual, o que, no dia-a-dia, não é frequente.

“E como acabou esta história?”, perguntam vocês: em 1905, durante o seu *annus mirabilis*, Einstein publicou diversos artigos sobre vários temas, entre os quais um sobre a natureza da luz, no qual expôs a teoria de que a luz é, de facto, uma onda e uma partícula. No final de todas estas voltas e viravoltas, aprendeu-se que nem sempre devemos acreditar no óbvio e que, por vezes, o nosso fracasso é o que nos torna mais famosos. ■

**Figura:** Ponto de Arago... ou Fresnel ou Poisson.  
(créditos: Harvard University)



# Ciência e Literatura

por Antônio Coelho\*, aluno do 2º ano do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST

**A** sociedade faz-se de pilares, de esteios essenciais sobre os quais as nossas vidas se erguem: a ciência, a literatura, a música, a política, a filosofia.

Questionamo-nos, muitas vezes, sobre até que ponto estes pilares se assemelham, mas nem sempre conseguimos concluir algo muito concreto, já que até a distinguir as próprias áreas umas das outras surgem dificuldades. Por exemplo, é vulgar ouvir-se que a ciência se faz de factos e de lógica e que a literatura se faz de imaginação e fantasia. Está errado e qualquer pessoa que tenha uma formação básica na área das ciências exatas sabe bem que todas as leis físicas surgem (quase) sempre de um ato espontâneo de criatividade. O formalismo vem, normalmente, depois, muito depois... Por outro lado, temos a literatura, que também tem de ser lógica, racional, enfim, bem pensada, caso contrário os grandes clássicos não passariam de meros diários escritos por qualquer um.

Numa das suas famosas entrevistas, Feynman fez uma autêntica ode a uma flor. Incomodado com a opinião de um amigo seu que acusava os cientistas de não conseguirem apreciar devidamente a beleza de uma flor ao contrário dos artistas, o físico responde:

*Posso não ser tão refinado esteticamente, mas sei apreciar a beleza de uma flor. Consigo imaginar as células e todos os processos complicados que também têm a sua beleza. Não existe só beleza à escala de um centímetro, mas também a dimensões mais pequenas. A estrutura interna e o facto das cores das flores evoluírem de forma a atrair os insetos para a polinização. E isto levanta uma questão: será que este sentido estético também existe nas formas mais pequenas? É este o tipo de questões interessantes que com a ciência e o conhecimento só aumenta a excitação e não a diminui!*

**Descobri hoje a água. Não a água lírica dos poetas. Descobri mas foi a água química e líquida, a correr, a manar duma fraga [...]**

Miguel Torga, *Diário*

Com um exemplo bem claro, o físico deita por terra todas as teorias formadas acerca da insensibilidade dos cientistas e da forma pouco humana como eles encaram a natureza.

Por outro lado, é indiscutível a quantidade de pormenores interessantíssimos que existem na literatura e que possuem beleza tanto literária como científica. Numa parte do clássico *Lolita* pode ler-se um exemplo gritante disto mesmo:

*Desta vez acertei em qualquer coisa dura: as costas de uma cadeira de baloiço preta, semelhante à de Dolly Schiller. A bala acertou na superfície interior das costas da cadeira, que começou imediatamente a balançar sozinha, tomada de pânico.*

Talvez isto passe despercebido ao leigo na matéria, mas físico jamais poderá desprezar a ligação entre a passagem anterior e a equação

$$m_b v_b = (m_b + m_c) v_{b+c}$$

Como pode alguém ignorar a beleza da equação anterior que expressa uma das leis fundamentais de toda a mecânica clássica?! E, se quiséssemos ser mais ambiciosos, podíamos também calcular a frequência angular com que a cadeira começou a baloiçar após o impacto. Bastava para isso que Nabokov nos tivesse dado mais informações sobre as dimensões do sistema. Afinal, o pânico que a cadeira sentiu foi só uma tentativa de conservar uma grandeza fundamental...

É fascinante esta estreita ligação entre literatura e ciência

e a forma como ambas podem ser feitas elegantemente sem se conhecerem mutuamente. Ainda assim, se ambas as áreas se desenvolveram até hoje praticamente de forma independente, o mesmo talvez não se possa dizer do futuro, e isso é perturbadoramente dito por Agustina Bessa-Luís:

*A literatura, mesmo literatura, está em vias de extinção. Vai ter uma necessidade de se ligar à ciência para poder continuar a existir e a ter o seu campo de reflexão aberto. ■*

\*O autor escreve ao abrigo do novo Acordo Ortográfico.





# A física e a tecnologia do... FRIGORÍFICO

por João Melo\*, aluno do 2º ano do Mestrado Integrado em Eng. Física Tecnológica, IST

Desde sempre houve necessidade de preservar comida para que fosse consumível noutra altura posterior. Para esse efeito foram adotadas diversas estratégias ao longo dos tempos, mas a mais eficaz foi preservar pelo frio. Foram precisos vários séculos de inovações, culminando no famoso frigorífico.

**P**ara atingir o fim de arrefecer a comida houve várias tentativas ao longo dos tempos. A primeira ideia foi pegar num cubo grande de gelo e metê-lo numa arca com revestimento isolante. O gelo iria arrefecer o ar em volta e por conseguinte o que quer que lá se metesse. Esse método contudo dependia da pré-existência de gelo, o que implicava uma custosa extração de gelo de sítios onde este ocorre naturalmente. Como tal, procurou-se desde muito cedo algo que criasse gelo, e depois aplicaram-se os mesmos princípios para construir uma bomba de calor, ou seja, uma máquina que transfira calor de uma fonte fria para uma fonte quente.

Mas qual é o grande problema de criar estas máquinas? O problema está nas Leis da Termodinâmica, nomeadamente na segunda, a famosa Lei da Entropia, que diz que esta só pode aumentar: o calor só pode ser transferido de um corpo mais quente para um mais frio. Ou seja, se juntarmos algo frio com algo quente, é o corpo quente que aquece o frio até ficarem com a mesma temperatura. Assim, não podemos esperar que a comida dentro do frigorífico arrefeça por si só. Temos que ser mais engenhosos!

Uma outra consequência da segunda lei é que uma máquina térmica, ou, dito de outra forma, um motor, não consegue transformar todo o calor em trabalho, tem sempre que ter perdas de energia por calor. Esperem lá. Uma máquina térmica pega numa fonte quente, e

daí retira trabalho e calor para uma fonte fria. Então e se a metêssemos a trabalhar ao contrário? Entrava calor de uma fonte fria (interior do frigorífico) e trabalho de algo exterior, e como consequência saía calor para uma fonte quente (cozinha). É precisamente isso que queremos e é precisamente isso que foi feito.

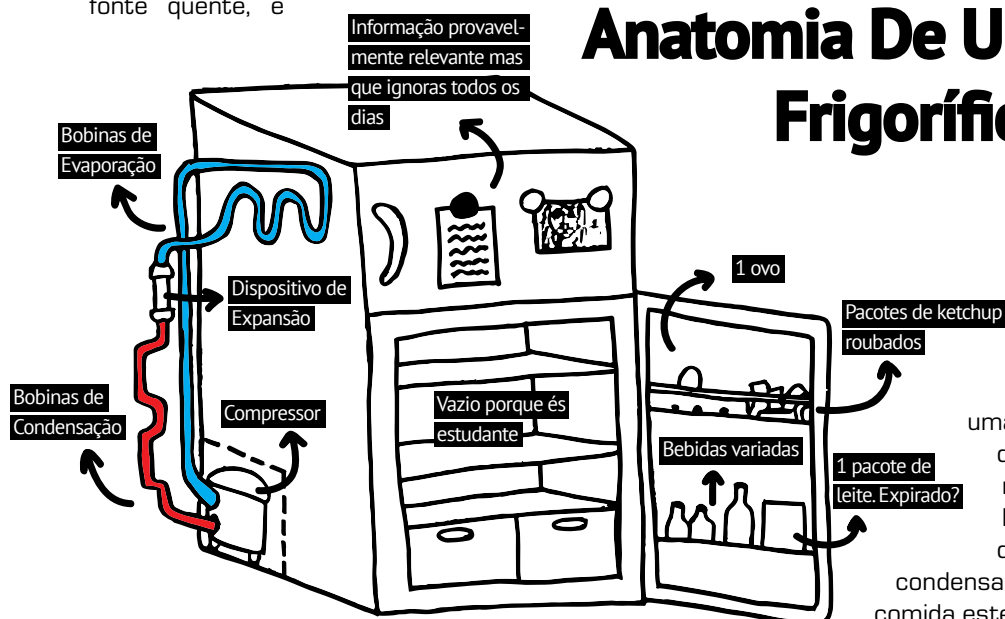
O segredo do frigorífico moderno é ter um motor alimentado por corrente elétrica que força um líquido/vapor a percorrer uma série de tubos de pressão variável. Esse motor cria o trabalho necessário para que esta máquina de calor invertida (bomba de calor) possa funcionar. As diferenças de pressão vão induzir diferenças de estado, que vão emitir ou absorver calor nos sítios apropriados para o funcionamento pretendido.

Então vamos ver em mais detalhe como funciona o ciclo do frigorífico moderno. Como é um ciclo podemos começar em qualquer ponto, por isso vamos começar quando o fluido em questão sai do interior do frigorífico e passa pelo motor, neste caso chamado compressor. Neste ponto, o fluido, que é um vapor a uma temperatura ligeiramente inferior ao interior do frigorífico, passa pelo compressor, que aumenta a sua pressão: o vapor é aquecido e pressurizado, contudo, apesar da sua alta pressão, não é liquefeito ainda. Em seguida, passa por uma zona chamada “condensador”

que o expõe ao ar da cozinha arrefecendo-o e liquefazendo-o, transformando-se em líquido ainda em alta pressão mas com uma temperatura apenas ligeiramente superior à temperatura ambiente. Esse líquido passa então por uma válvula de expansão, ou seja, uma zona de baixas pressões. Essa grande diferença de pressão transforma aproximadamente metade do líquido de novo em vapor, implicando uma grande absorção de energia e, como tal, arrefecendo a mistura.

Por último, já dentro do frigorífico, há uma ventoinha que faz circular o ar dentro do frigorífico que vai absorver a energia necessária para evaporar o resto do líquido e assim arrefecer o ar dentro do frigorífico. Esse vapor frio passa pelo condensador e tudo se repete para que a nossa comida esteja sempre fresquinha! ■

## Anatomia De Um Frigorífico



\*O autor escreve ao abrigo do novo Acordo Ortográfico.



## Agenda Científica

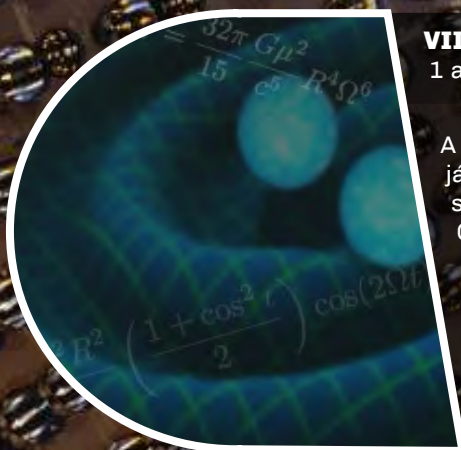


### Plasma Surf

10 a 15 de Julho 2016, Oeiras

Esta Escola, organizada pelo Instituto de Plasmas e Fusão Nuclear, destina-se preferencialmente a alunos de Física e Engenharia Física Tecnológica (MEFT). A realizar-se em Oeiras, este evento pretende ser uma introdução à física de plasmas, fusão nuclear e lasers intensos... mas não só! Entre algumas das actividades lúdicas preparadas, tens também a oportunidade de ter algumas aulas de surf. Estás nessa onda?

Mais info: <http://plasmasurf.tecnico.ulisboa.pt/index.html>



### VIII Escola de Astrofísica e Gravitação

1 a 6 de Setembro 2016, Instituto Superior Técnico

A oitava edição da Escola de Astrofísica e Gravitação (EAG) realiza-se já este ano. Esta escola, com uma duração de uma semana, pretende ser uma introdução aos vários temas nas áreas de Astrofísica e Gravitação nos quais se faz, actualmente, investigação. Tens ao teu dispor uma grande panóplia de cursos introdutórios e avançados. E, como não podia deixar de ser, neste ano de descoberta das ondas gravitacionais, terás oportunidade de perceber exactamente o que são estas ondas sneaky que foram tão difíceis de detectar!

Mais info: <https://centra.tecnico.ulisboa.pt/pt/network/eag8/>

## Física Sobre Rodas

Neste Verão a Física Sobre Rodas irá levar a ciência a todo o Portugal Continental. Com este evento o Núcleo de Física do IST fará divulgação científica nos pontos mais remotos do país, através de experiências de física, observações astronómicas, sessões de planetário, workshops e palestras. Serão também distribuídas revistas PULSAR.

A FSR decorrerá durante 10 dias no mês de Julho, pelas ruas, escolas e pavilhões de várias cidades. É um evento interessante para todos, dos netos aos avós e dos leigos aos cientistas.

Consulta a agenda cultural do teu município para saberes se nos vais encontrar por aí!



Detector do Sudbury Neutrino Observatory antes da instalação de fotomultiplicadores.

Fonte: © Sudbury Neutrino Observatory



## XIX Semana da Física

A Semana da Física é um projecto desenvolvido pelo Núcleo de Física do Instituto Superior Técnico que tem por objectivo promover a educação científica em Portugal. Neste âmbito a Semana da Física tem sido a principal actividade do Núcleo desde a sua criação, em 1995. Uma semana totalmente dedicada à divulgação da Física, que decorreu de 15 a 20 de Fevereiro de 2016 (Sim! Sábado também), no Instituto Superior Técnico.

Como sempre, o Circo esteve presente com experiências que divertem e fazem pensar, e a Astro ensinou a miúdos e [quase] graúdos como interpretar aqueles pontinhos luminosos (mas não só) que populam o céu nocturno. A grande novidade para os quase 2000 alunos do Ensino Básico e Secundário que nos visitaram foi que, para além da possibilidade de assistirem a palestras, explorarem materiais [actividade desenvolvida com o apoio do Núcleo de Engenharia dos Materiais] ou visitarem laboratórios de investigação, podiam também participar num *workshop hands-on* para aprender a construir as melhores (mas menos ameaçadoras) máquinas de guerra. Esta nova actividade foi a delícia dos engenheiros McGyver-escos que há dentro de cada um dos nossos visitantes!

No Sábado, a Semana da Física esteve aberta ao público e recebeu cerca de 200 visitantes.

Em Dezembro, começaremos a divulgar detalhes sobre a 20ª (!) edição da Semana da Física. Seja com a tua escola ou com a tua família, não deixes de vir visitar-nos.

