

Richard Feynman

O legado de Feynman na Física contemporânea
Passagem de Feynman por Portugal
Os livros de Richard Feynman

Entrevista com Nobel: Michael Kosterlitz

Índice

1 Editorial

artigo geral

2 O paradigma perturbativo e o legado de Feynman na Física contemporânea

Filipe Moura

artigo geral

6 Feynman e a Conferência Europeia de Física das Altas Energias, de Lisboa

Gustavo Castelo Branco

artigo geral

9 Lembrando Richard Feynman em Portugal

Mário J. Pinheiro

artigo geral

12 Os livros de Richard Feynman

Carlos Fiolhais

artigo geral

18 Um ano na fronteira do infinitamente pequeno

Sofia Andringa, Nuno Castro, Ricardo Gonçalo, Orlando Oliveira

entrevista

24 Entrevista com Michael Kosterlitz

Patrícia F.N. Faísca, Rui D.M. Travasso

sala de professores

30 CanSat - Um projeto multidisciplinar numa sociedade tecnológica

Pedro Rodrigues Jorge

sala de professores

33 O Método de Pfund na determinação de índices de refração em lâminas transparentes: Uma aplicação em sala de aula

Talitha Trovão Vaz, Marcos Binderly Gaspar

crónicas

36 O avanço excepcional, a rotina e o retrocesso

Carlos Herdeiro

vamos experimentar

37 Consegues fazer um floco de neve de papel?

Constança Providência

livros e multimédia

39 Livros

José Braga Costa

42 Notícias

FÍSICA 2018
Olimpíadas de Física

CRÉDITOS

Richard Feynman (capa) recebeu o prémio Nobel da Física em 1965, em conjunto com Julian Schwinger e Sin-Itiro Tomonaga

Imagem: Kevin Fleming/Corbis via Getty

Em 11 de maio de 2018 comemorou-se o centenário do nascimento de Richard Feynman, um dos grandes cientistas do século XX. Feynman foi prémio Nobel da Física em 1965, juntamente com Julian Schwinger e Sin-Itiro Tomonaga, pelas suas contribuições para o desenvolvimento da Eletrodinâmica Quântica. Em 1999, numa sondagem da *Physics World* a Físicos de renome, foi considerado um dos dez Físicos mais influentes de todos os tempos. Tem uma vasta obra publicada, tanto em Física fundamental, como em divulgação para o grande público, como nos mostra neste número o artigo de Carlos Fiolhais sobre os livros por ele escritos. Neles é posto em evidência não só o trabalho de Richard Feynman enquanto cientista, mas também a sua faceta de divulgador de ciência. Feynman é sem dúvida uma figura inspiradora, cujo percurso desperta a curiosidade de todos nós, como se percebe pelas numerosas biografias a ele dedicadas, pelas inúmeras obras relativas ao seu trabalho ou pelos numerosos *sites* da internet que fazem a compilação de frases, poemas, histórias de vida e mensagens que ele deixou.

Feynman não é estranho aos países de Língua Portuguesa. Esteve três vezes no Brasil, no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas. Entre 1951 e 1952 passou lá um ano sabático, tendo lecionado Eletromagnetismo, Física Nuclear e Eletrodinâmica Quântica, enquanto aprendia português. Analisando o caso específico do Brasil, numa palestra bem conhecida, deixou críticas e desafios para o desenvolvimento e aprofundamento do ensino da Ciência, em particular da Física, que nos devem fazer, ainda hoje, refletir. É precisamente no Brasil, em Belém do Pará, que nos coloca a Crónica de Carlos Herdeiro, mostrando que, proporcionando oportunidades, mesmo em contextos difíceis e com poucos meios, é possível montar

grupos de investigação de nível elevado. Eles são o ponto de partida para o desenvolvimento de formação superior de qualidade, que permite às novas gerações singrar e cumprir as suas aspirações. A Crónica lembra-nos ainda que nem tudo é garantido. Num mundo onde há demasiadas *fake news*, é particularmente importante debater e alertar os mais jovens, sobre as dificuldades, os constrangimentos e os desafios que têm sido vencidos para caminhar no sentido de criar uma sociedade com cultura científica.

Feynman passou também por Portugal. Esteve na Conferência Europeia de Física das Altas Energias (HEP), organizada pela Sociedade Europeia de Física (EPS), que ocorreu em Lisboa de 9 a 15 de julho de 1981, como nos mostra Gustavo Castelo Branco, nesta edição. Organizada pela Divisão de Física de Partículas e Altas Energias da Sociedade Europeia de Física, esta é uma das principais conferências internacionais deste campo. Enquanto jovem investigador, Mário Pinheiro participou na HEP de Lisboa. Nela, teve oportunidade de conhecer e conviver com Feynman, deixando neste número da Gazeta alguns apontamentos sobre a sua personalidade.

Richard Feynman foi sem dúvida uma figura inspiradora. Foi um grande pedagogo que gostava de Ciência e de ensinar. Com o seu espírito brincalhão questionava o mundo e levava a Física a todo o lado. Relembrando o centenário do seu nascimento e o seu exemplo de vida, a Gazeta dedica-lhe este número.

Boas leituras



Ficha Técnica

Estatuto Editorial

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

Propriedade | Sede | Redação

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

Joaquim Moreira - Delegação Norte
Rui Travasso - Delegação Centro
Pedro Abreu - 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

Registo ICS 110856

ISSN 0396-3561

Depósito Legal 51419/91

Tiragem 1 000 Ex.

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.

O paradigma perturbativo e o legado de Feynman na Física contemporânea

Filipe Moura¹

¹ Escola de Tecnologias e Arquitetura, ISCTE - Instituto Universitário de Lisboa

Richard Feynman é conhecido cientificamente sobretudo pelo seu trabalho em Física das Interações Fundamentais. Feynman foi um dos proponentes da Eletrodinâmica Quântica (QED), a versão quântica da teoria eletromagnética formulada no século XIX, tendo por isso sido galardoado em 1965, juntamente com Julian Schwinger e Shinichiro Tomonaga, com o Prémio Nobel de Física. Por ocasião dos cem anos passados sobre o seu nascimento, pretendemos com este artigo recordar os principais aspetos do seu trabalho. Mais do que discutir a sua óbvia relevância científica, procuraremos refletir sobre o papel do mesmo na investigação científica em Física nos dias de hoje.

As contribuições de Feynman foram bastante diversas em diferentes campos da Física, do hélio líquido à computação quântica. Mas podemos dizer, sem risco de polémica, que as contribuições mais importantes foram em Teoria Quântica de Campo e Física de Partículas. Neste domínio, Feynman trabalhou com a interação eletromagnética, mas também com a interação fraca e a interação forte. Na base de todos estes trabalhos, porém, está uma nova formulação (mas não uma nova interpretação!) da Mecânica Quântica.

Na Mecânica Quântica um sistema é descrito por uma função de onda, cuja evolução no tempo (e variação no espaço) é descrita pela equação de Schrödinger. Esta equação é formulada em termos de um operador já existente na Mecânica Clássica, o hamiltoniano, expresso em função das coordenadas e momentos (mas não em função do tempo, pelo menos de um modo explícito), e cujos valores próprios correspondem à energia.

Ora, em Mecânica Quântica mesmo as coordenadas e os respetivos momentos são operadores que não comutam entre si, o que torna os cálculos complicados, principalmente se lidarmos com sistemas de muitas partículas. Além disso, na Mecânica Quântica canónica, as relações entre operadores dependem do tempo, isto é, do instante em que são calculadas. A dependência no tempo surge assim como uma complicação extra. Ora tempo e espaço são relativos, e são relacionados entre si pelas transformações da Teoria da Relatividade, pelo que uma formulação relativista de uma teoria deve considerar tempo e espaço indiferentemente. A formulação da Mecânica Quântica em termos do hamiltoniano não é a mais adequada para uma descrição relativista.

Para este efeito (tecnicamente, o que se chama uma formulação covariante), é mais conveniente o operador lagrangeano (também conhecido na Mecânica Clássica) ou, mais concretamente, o seu integral: a ação S .

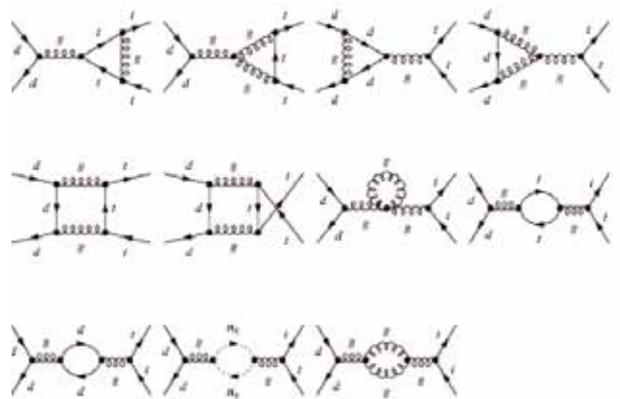


Fig. 1 - Diagramas de Feynman necessários para o cálculo da amplitude do espalhamento de um quark top e um quark down, em primeira ordem em teoria de perturbações.

Na transição de uma partícula de um estado na posição x_1 no instante t_1 para um estado na posição x_2 no instante t_2 , consideram-se todos os caminhos possíveis entre estes dois pontos no plano $x-t$ e, para cada um, calcula-se a respetiva ação $S(x, t)$. Feynman mostrou que cada caminho, descrito por uma função $x(t)$, tem uma contribuição proporcional a um fator de fase dado por $e^{i\frac{S}{\hbar}}$, onde $S(x, t)$ é a ação correspondente e \hbar a constante de Planck reduzida. Para determinar a amplitude de transição, somam-se as contribuições de todos estes caminhos, integrando $e^{i\frac{S}{\hbar}}$ sobre todas as funções $x(t)$ verificando as condições $x(t_1) = x_1$ e $x(t_2) = x_2$. O integral correspondente, designado como integral funcional, é o integral de caminho de Feynman. Por requerer uma matemática mais abstrata e por não se traduzir numa resolução mais simples, a abordagem do integral de caminho não costuma ser utilizada nos problemas e nos cursos introdutórios de Mecânica Quântica, mas

é muitíssimo útil em sistemas com um número infinito de graus de liberdade, relativistas (Teorias Quânticas de Campo) ou não (teorias de muitos corpos em Física Nuclear e Matéria Condensada). Esta formulação dá-nos outra perspectiva sobre a evolução no tempo e sobre o limite clássico da Mecânica Quântica.

Na Mecânica Clássica, é válido o princípio da ação mínima: de entre todos os caminhos possíveis entre dois pontos, esperamos que haja um único caminho “clássico” que minimiza a ação, e a partícula seguirá a trajetória a ele correspondente. A este valor mínimo da ação chamamos portanto S_{cl} . Por a ação ser mínima para este caminho, a sua derivada em relação a qualquer parâmetro ε será 0. Para caminhos numa vizinhança do caminho “clássico”, a variação da ação é em primeira ordem dada por $\delta S = \frac{\delta S}{\delta \varepsilon} \times \delta \varepsilon \approx 0$, e a sua contribuição para a amplitude será da forma

$e^{\frac{iS_{cl} + \delta S}{\hbar}} \approx e^{\frac{iS_{cl}}{\hbar}}$. Isto significa que as contribuições para a amplitude dos caminhos na vizinhança do “clássico” têm aproximadamente todas a mesma fase e, ao serem sobrepostas (como acontece no cálculo do integral de caminho), vão interferir construtivamente. Para um caminho em geral $\delta S \neq 0$, as contribuições dos caminhos na sua vizinhança não estarão em fase e poderão interferir destrutivamente.

Este efeito de as contribuições dos caminhos na vizinhança estarem em fase e como tal se somarem coerentemente, só possível para o caminho que minimiza a ação, é reforçado nas situações em que $S/\hbar \gg 1$, como sucede para uma partícula macroscópica. Este limite $S \gg \hbar$ para a ação do sistema corresponde justamente ao limite clássico da Mecânica Quântica, conforme proposto por Paul Dirac em 1933, e dá-nos assim um significado físico preciso para a constante de Planck. Para um mesmo caminho, as diferenças de fase em relação ao caminho que minimiza a ação crescem com essa mesma ação; no limite clássico obtém-se assim diferenças de fase comparativamente muito superiores. Em contrapartida, no caso quântico em que $S \approx \hbar$ por as diferenças de fase serem muito mais pequenas há uma gama muito maior de caminhos que podem contribuir coerentemente para a amplitude de transição, pelo que o movimento das partículas é muito mais difuso e incerto, não podendo ser descrito pela Mecânica Clássica.

Em Mecânica Quântica, são poucas as interações cujos potenciais originam soluções exatas da equação de Schrödinger: na maioria dos casos, é necessário recorrer ao método da teoria das perturbações. O mesmo se passa em Teoria Quântica de Campo, sendo neste caso o lagrangeano decomposto numa parte livre (sem interações) e noutra parte correspondente à interação em questão, escrita em termos de uma constante de acoplamento. As amplitudes de transição são escritas na forma de uma série per-

turbativa, onde cada termo (formal) da mesma corresponde a uma ordem na constante de acoplamento. Essa ordem corresponde à ordem da teoria das perturbações com que se trabalha. Se tudo funcionar (clarificaremos este ponto a seguir), quanto mais alta for a ordem da teoria das perturbações considerada, mais próximo será o resultado calculado do resultado real. Cada termo formal desta série, numa dada ordem, corresponde na verdade a vários (o número é crescente com a ordem) termos efetivos, escritos em função dos campos correspondentes às partículas consideradas. Feynman criou uma visualização pictórica destes termos efetivos: cada um corresponde ao que se chama um diagrama de Feynman. Estes diagramas possibilitam não só a visualização de cada um dos termos que fazem parte da série perturbativa, incluindo a respetiva ordem de perturbação, mas ainda a determinação da expressão matemática concreta associada a cada termo. Com efeito, existe uma correspondência unívoca entre cada diagrama (cada vértice e cada linha) e uma expressão matemática. A expressão precisa dessa correspondência varia com as interações que estão a ser consideradas, isto é, com o lagrangeano da teoria, mas para um dado lagrangeano é sempre dada pelas mesmas regras: as regras de Feynman. O método aplicado por Feynman à Eletrodinâmica Quântica, bem como outras demonstrações de consistência da teoria, valeram o prémio Nobel de Física de 1965. Ainda hoje se podem fazer cálculos originais em QED aplicados a muitos fenómenos envolvendo somente a interação eletromagnética, nomeadamente em Física Atómica: à medida que os métodos experimentais se vão sofisticando e permitem fazer medições cada vez mais precisas, tornam-se necessários cálculos igualmente mais precisos que com elas possam ser comparados. Merece destaque o célebre exemplo do momento magnético anómalo do eletrão, calculado (até à quarta ordem em teoria de perturbações) e medido, com resultados concordantes, com nove algarismos significativos – uma precisão de 1 num milhar de milhão.

As regras de Feynman foram aplicadas com sucesso em outras teorias quânticas de campo (de Yang-Mills) descrevendo a interação eletrofraca (o Modelo Padrão) e a interação forte (a Cromodinâmica Quântica). O próprio Feynman contribuiu para o avanço da compreensão destas interações.

Relativamente à interação fraca, merece referência um artigo que Feynman publicou com Murray Gell-Mann onde é proposto um lagrangeano com uma diferença entre uma interação descrita por um vetor e uma outra descrita por um pseudovetor ou vetor axial (coloquialmente, “V-A”). Este tipo de lagrangeano viola a paridade, algo que, como é bem sabido, é característico da interação fraca (ver a este respeito a entrevista a Chen-Ning Yang no volume 40, n.º 2 da Gazeta de Física). Mas a teoria V-A proposta por Feynman e Gell-Mann era incompleta, pois não descrevia outra característica fundamental da interação fraca: a alteração de “sabor”. Tal como a Eletrodinâmica Quântica (embora historicamente não lhe seja equiparável), esta teoria viria a ser englobada pela teoria de Salam e Weinberg, o Modelo Padrão das Interações Eletrofracas.

Na interação forte Feynman propôs o modelo dos partões. A muito altas energias ocorrem colisões inelásticas entre pro-

tões e elétrons, que não podem ser descritas por fórmulas como a de Rutherford (válida para colisões elásticas). Devido à grande transferência de energia, o próton desintegra-se; quando esta energia transferida é mesmo muito alta (as chamadas colisões profundamente inelásticas), a estrutura do próton inicial é completamente perdida e um novo formalismo teve de ser desenvolvido para extrair informação das medições. Esta análise, efetuada por James Bjorken, revelou que o próton não poderia ser uma partícula elementar, tendo de possuir algum tipo de estrutura interna. Feynman propôs que o próton fosse constituído por um certo número de partículas pontuais, chamadas partões. A cada um destes partões corresponderia uma fração do momento total do próton. Para muito altas energias, a colisão do elétron com o próton seria descrita como a colisão com um destes partões. Mas de uma análise cuidadosa da distribuição de momentos entre os partões conclui-se que uma fração significativa do momento do próton tem de pertencer a estados que não interajam com fótons, isto é, que sejam eletricamente neutros, pelo que também têm de existir partões com estas características. O modelo dos quarks, proposto por Gell-Mann, associado à Cromodinâmica Quântica, permite identificar os partões eletricamente carregados como quarks e os partões sem carga elétrica como os gluões. O modelo dos partões de Feynman, desta forma, viria a ser perfeitamente incorporado na visão moderna da interação forte baseada na Cromodinâmica Quântica, permitindo uma boa descrição de colisões envolvendo hádrons (não somente prótons) a muito altas energias, sendo ainda hoje usado para este efeito.

As regras de Feynman foram também aplicadas com sucesso em teorias não relativistas (na Física Nuclear e na Física da Matéria Condensada) e em teorias mais especulativas e sem confirmação experimental, como a supersimetria e as teorias de supercordas. Muito para além disso, os diagramas de Feynman simbolizam um paradigma na Física Teórica: o paradigma perturbativo. Mas mesmo esse paradigma, como tudo, tem os seus limites. São esses limites que vamos tentar referir de forma breve no resto deste artigo.

Os leitores mais atentos deverão ter reparado que, quando referimos o princípio da ação mínima e os integrais de caminho, designámos o caminho que minimizava a ação por “caminho clássico”, isto é, o caminho correspondente à trajetória de uma partícula na Mecânica Clássica. Mas isso não é necessariamente verdade: este caminho pode não ser clássico, isto é, pode ser proibido pelas regras da Mecânica Clássica. O método da teoria das perturbações aplica-se somente no cálculo de soluções na vizinhança de estados clássicos, mas não descreve transições puramente quânticas entre estados. Estas transições existem e são possíveis, nomeadamente através do chamado efeito de túnel. Podem ser descritas através de integrais de caminho, se considerarmos os chamados instantões (tal descrição está fora do âmbito deste artigo). Mas não podem ser descritas através dos diagramas de Feynman: são um fenómeno intrinsecamente não perturbativo.

Um outro caso em que a teoria de perturbações deixa de ser válida ocorre, logicamente, quando as aproximações a ela associadas deixam de fazer sentido matematicamente. Embora a série perturbativa associada à Eletrodinâmica

Quântica não seja convergente, tal como foi demonstrado por Freeman Dyson, ela é válida e constitui uma boa aproximação no sentido assintótico. Mas em teorias de Yang-Mills tal nem sempre é válido, e a série deixa de fazer sentido e de ser uma boa aproximação quando o parâmetro perturbativo associado, a constante de acoplamento, for muito grande. Neste caso, diz-se que estamos num regime de acoplamento forte. Na Cromodinâmica Quântica e nas teorias que obedecem à chamada liberdade assintótica, tal ocorre nas energias mais baixas; a aproximação perturbativa só é válida no limite das altas energias, tal como o modelo dos partões.

O estudo de sistemas físicos com acoplamento forte tem grande importância e interesse em muitas situações, mas estes sistemas não podem portanto ser descritos pela teoria das perturbações, pelo menos diretamente. A busca de formulações não perturbativas destas teorias é um tópico ativo de investigação que está fora do âmbito deste artigo, sendo que na Cromodinâmica Quântica ganhou relevância a formulação na rede (“lattice QCD”). Neste artigo abordamos outras possibilidades mais relacionadas com a teoria das perturbações, baseadas no conceito de dualidade. Duas teorias são duais se oferecerem descrições equivalentes através de uma troca de alguns dos seus parâmetros. O exemplo mais simples é a dualidade eletromagnética: na ausência de cargas e correntes, as equações de Maxwell que descrevem a Eletrodinâmica Clássica são invariantes pela troca dos campos elétrico e magnético, de acordo com $\mathbf{E} \rightarrow \mathbf{B}$ e $\mathbf{B} \rightarrow -\frac{1}{c^2} \mathbf{E}$.

Esta dualidade pode ser generalizada. Se g for uma constante de acoplamento, diz-se que duas teorias são relacionadas pela dualidade S (de *strong-weak*) se uma se transformar na outra através da transformação $g \leftrightarrow \frac{1}{g}$. Em teorias

S-duais, o regime de acoplamento forte (grande valor da constante) de uma teoria é equivalente ao regime perturbativo (pequeno valor da constante) na outra, pelo que os cálculos perturbativos são sempre possíveis, bastando escolher a teoria/formulação que for mais conveniente. A dualidade S não é observada em nenhuma teoria realista, que descreva fenómenos com confirmação experimental: é somente uma propriedade de algumas teorias que possuem simetrias que nunca foram observadas na natureza, como a supersimetria. Tem no entanto um interesse teórico evidente, sendo estudada sobretudo como um exemplo ilustrativo.

Uma dualidade que tem tido muitas aplicações recentes a sistemas mais realistas é a correspondência AdS/CFT. Esta dualidade também tem a sua origem em teorias nunca observadas na natureza: relaciona teorias de supercordas num espaço-tempo limitado por uma fronteira com teorias de campo localizadas nessa mesma fronteira. Para cada observável numa das teorias existe uma correspondente na outra, e

os seus valores coincidem. O mais notável, no nosso contexto, é que a correspondência é realizada de tal forma que o limite perturbativo numa teoria equivale ao limite não perturbativo na outra. Assim sendo, é possível fazer previsões quantitativas em teorias de campo fortemente acopladas através de cálculos perturbativos realizados na teoria dual (desde que esta teoria dual exista, o que nem sempre é garantido). Estes cálculos perturbativos são efetuados segundo as regras e os diagramas de Feynman. A aplicação desta dualidade na Física da Matéria Condensada permite compreender o comportamento da resistividade elétrica de certos supercondutores a alta temperatura (nomeadamente certos cupratos - os chamados metais estranhos), para a qual não é conhecida outra explicação. Aplicada à Cromodinâmica Quântica, a correspondência AdS/CFT tem permitido estudar o plasma de quarks e glúons, um estado exótico da matéria que terá sido formado cerca de 10^{-11} segundos após o Big Bang, originado por colisões de íões pesados a altas energias e temperaturas, causando o desconfinamento dos quarks que constituem os seus núcleos. Neste estado, a Cromodinâmica Quântica perturbativa não é válida, mas a aplicação da correspondência AdS/CFT tem permitido fazer algumas previsões teóricas até então desconhecidas e posteriormente verificadas experimentalmente no colisionador RHIC, no laboratório de Brookhaven nos EUA.

Todos estes exemplos permitem concluir que as regras e os diagramas de Feynman, e mais geralmente a teoria de perturbações, têm dado e continuam a dar explicações e contributos preciosos à Física, por vezes de uma forma surpreendente. Esta abordagem não permite, no entanto, como vimos, explicar vários fenómenos físicos muito importantes, pelo que formulações intrinsecamente não perturbativas das teorias quânticas continuam a ser um tópico muito importante de investigação. A contribuição de Feynman para a Física Teórica, como vimos, é marcante, fundamental e plena de atualidade, continuando a exercer uma grande influência nos dias de hoje.



Fig. 2 - Feynman com parentes em férias diante da carrinha da família, decorada com figuras dos famosos diagramas.

Agradecimentos

Para a elaboração deste artigo foram muito úteis discussões e conversas com Guilherme Milhano. Agradeço ainda a João Ramalho Pires pela leitura atenta.



Filipe Moura Licenciado em Engenharia Física Tecnológica pelo Instituto Superior Técnico (1997) e doutorado em Física no Instituto C.N. Yang de Física Teórica da Universidade do Estado de Nova Iorque em Stony Brook, EUA (2003). Trabalha em Física Teórica de Altas Energias e Física Matemática. É professor auxiliar convidado no ISCTE-Instituto Universitário de Lisboa e editor da Gazeta de Física.

Feynman e a Conferência Europeia de Física das Altas Energias, de Lisboa

Gustavo Castelo Branco¹

¹ Instituto Superior Técnico

A Conferência Europeia de Física das Altas Energias (HEP), organizada pela Sociedade Europeia de Física (EPS) teve lugar em Lisboa de 9 a 15 de julho de 1981. Foi um enorme acontecimento científico, com a participação de alguns dos melhores e mais famosos físicos de partículas, incluindo vários Prémios Nobel.

A lista de participantes é impressionante, tendo incluído físicos como Richard Feynman, Gerard 't Hooft, Abdus Salam, Bruno Zumino, Kurt Symanzik, Carlo Rubbia, Nicola Cabibbo, Rene Turlay e Herwig Schopper que tinha sido recentemente escolhido para Diretor Geral do CERN, Laboratório Europeu de Física de Partículas, localizado em Genebra, na

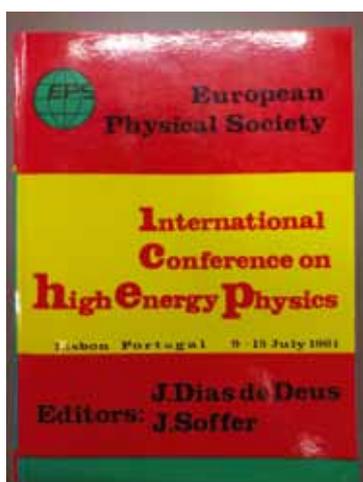


Fig. 1 - Capa do livro atas da Conferência Europeia de Física das Altas Energias, organizada pela Sociedade Europeia de Física em Lisboa, de 9 a 15 de julho de 1981



Fig. 2 - Anúncio da exposição "De que são feitas as coisas?" para o público em geral, associada à Conferência Europeia de Física das Altas Energias, organizada pela Sociedade Portuguesa de Física no Instituto Superior Técnico.

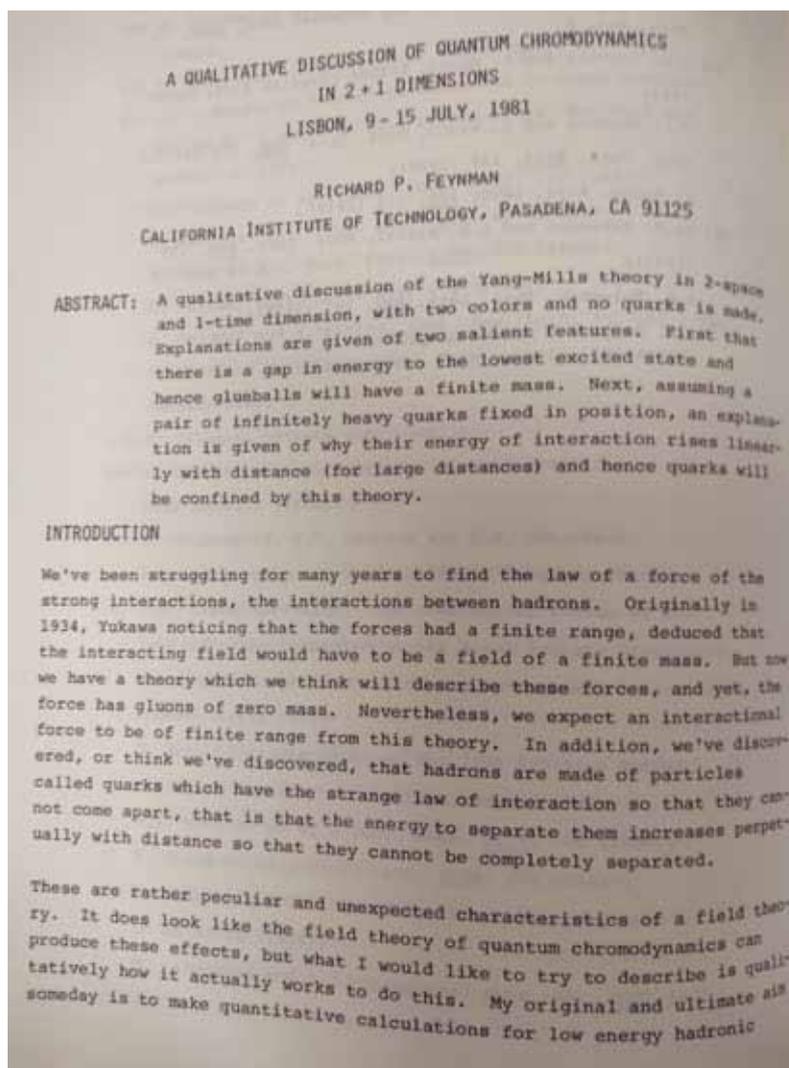


Fig. 3 - Comunicação de Richard Feynman, apresentada na Conferência Europeia de Física das Altas Energias de Lisboa (parte 1).

Suíça. Richard Feynman nasceu em Nova Iorque a 11 de maio de 1918, portanto na altura era um jovem de 63 anos e a HEP de Lisboa terá sido uma das últimas grandes conferências em que ele participou. Morreu relativamente jovem, em 1988. Na conferência de Lisboa, ele apresentou uma discussão qualitativa da cromodinâmica quântica em 2+1 dimensões. O propósito era procurar perceber as interações fortes, responsáveis pela estabilidade dos núcleos e também pela existência dos hádrons, estados ligados de quarks.

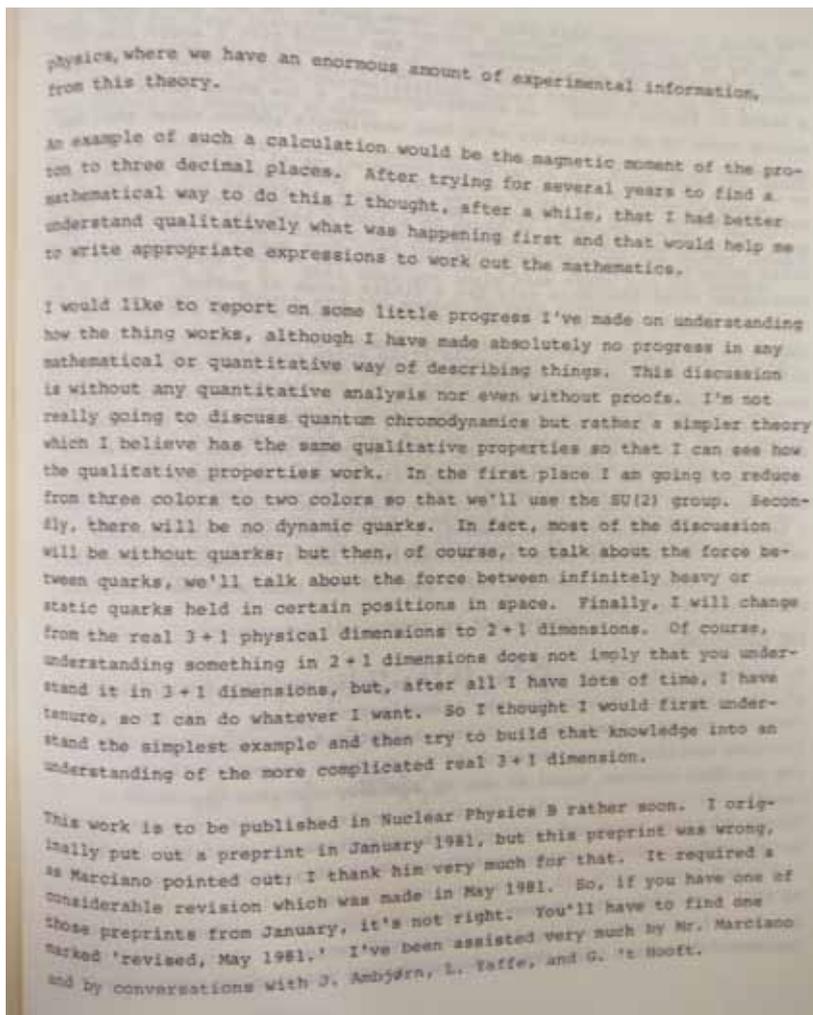


Fig. 4 - Comunicação de Richard Feynman, apresentada na Conferência Europeia de Física das Altas Energias de Lisboa (parte 2).

Na introdução da sua apresentação, Feynman realçou que se trata de uma questão que está connosco há muito tempo. Yukawa tinha argumentado que tendo as forças fortes um alcance finito, os campos responsáveis por estas interações deveriam ter massa. Feynman realçou que com o aparecimento da cromodinâmica quântica, sabemos que os glúões, responsáveis pelas interações fortes, não têm massa! A este mistério junta-se outro, o facto de os quarks terem interações tais que não é possível separá-los, não podendo assim os quarks existir como partículas livres. É o problema do confinamento. Estas são

questões fundamentais que continuam hoje a estar completamente em aberto. Ainda na introdução, Feynman diz que o seu propósito era um dia ser capaz de fazer cálculos rigorosos para a Física dos hádrons, a baixa energia. Este sonho do Feynman continua a ser um sonho hoje, embora tenham sido feitos avanços importantes, sobretudo no âmbito das teorias de gauge em rede.

Feynman tinha uma grande paixão pela Física e procurava explicar tudo de modo simples e compreensível. Para ele, se um físico compreende uma lei da Física, obtendo um resultado, então deve ser capaz de o explicar de um modo simples. Se não for capaz de o fazer, deve concluir que não compreende esse resultado, essa lei, de um modo profundo. Para Feynman, ter um teorema não chega. Nas discussões de Física, Feynman era por vezes agressivo, mas sempre frontal e com uma grande honestidade intelectual. Tal como qualquer outro físico, fazia erros, mas quando alguém lhe apontava um erro, imediatamente aceitava e agradecia a correção. Um exemplo desta postura de Feynman foi dado na conferência de Lisboa. Em determinada altura da sua apresentação, Feynman mencionou que o trabalho que estava a descrever ia ser publicado em breve na *Nuclear Physics B*. Menciona, também, que uma versão inicial do seu trabalho tinha aparecido num *preprint* em janeiro de 1981. No entanto, essa primeira versão estava errada, como havia sido já mostrado por Bill Marciano. Assim, Feynman agradeceu a Marciano e também a Ambjorn, a Yaffe e a 't Hooft, com quem tinha conversado sobre o assunto. Lembro-me que durante a sua apresentação, Feynman se dirigiu a 't Hooft, embora não me lembre dos detalhes. Foi claro que Feynman tinha uma grande admiração pelo jovem holandês que por volta de 1971 tinha, em colaboração com o seu orientador Martinus ("Tini") Veltman, revolucionado a Física de partículas, com a prova de

que as teorias de gauge quebradas espontaneamente são renormalizáveis.

A Conferência Europeia de Física das Altas Energias (HEP) de Lisboa teve lugar numa altura em que a Física de Partículas Europeia estava a preparar-se para grandes mudanças. Embora a Relatividade e a Mecânica Quântica tenham sido descobertas na Europa nas primeiras décadas do século XX, a II Grande Guerra causou grande destruição e, como resultado disso, os Estados Unidos da América passaram a ter um crescente protagonismo, sobretudo com a ida para a América de eminentes físicos europeus, muitos deles judeus, que foram obrigados a emigrar. Um exemplo notável

foi o de Fermi que, embora não fosse judeu, estava casado com uma senhora judia e teve que ir para os Estados Unidos. Fermi é considerado o “ Pai “ da Física de Altas Energias feita nos Estados Unidos. Durante a década de 50 e 60, os Estados Unidos dominaram a Física Experimental de Partículas, com os laboratórios SLAC, Brookhaven e FERMI a liderarem a Física de Partículas, a nível mundial. A Europa teve a sabedoria de criar o CERN em 1954. Hoje o CERN é o maior e melhor Laboratório do mundo para Física de Partículas. Na conferência de Lisboa, Herwig Schopper fez uma apresentação das possibilidades futuras da Física Europeia das Altas Energias. No CERN, estava-se a planear a construção do LEP, e no DESY, localizado em Hamburgo (Alemanha), o PETRA estava em pleno funcionamento.

Em 1981, Lisboa era uma cidade muito diferente do que é hoje. Claro que era, como sempre, uma cidade fascinante com uma luz espantosa que encantou Tabucchi. Mas não tinha os espaços para conferências que tem hoje. Não havia na altura em Lisboa um sitio adequado destinado a conferências que pudesse acolher a HEP. Tivemos de recorrer à Fundação Calouste Gulbenkian que teve a grande generosidade de disponibilizar as suas instalações. As sessões plenárias foram no Grande Auditório e as paralelas em salas contíguas. Correu tudo muito bem. Pela primeira vez fomos à Gulbenkian não para Concertos ou Bailados, mas para assistir a uma grande conferência de Física!

Em julho desse Verão, fez um tremendo calor em Lisboa. Mas as noites foram como sempre mais frescas.... Lembro-me de ter ido dar um passeio por Alfama, com o Nicola Cabibbo e Glennis Farrar que também participou na conferência. Cabibbo ficou encantado com Alfama, disse-me que lhe fazia lembrar a Roma da sua adolescência. Naquela altura, em Alfama, a rua era a continuação da sala de estar e havia um convívio de portas abertas. Hoje Alfama está completamente diferente, com a turistificação, com a invasão dos “alojamentos locais” e, claro está, com o desaparecimento de grande parte da população local que foi obrigada a ir viver para fora. Hoje Alfama está de cara lavada e bonita por fora, mas está a perder a alma.

A conferência HEP em Lisboa, para além de ter sido um extraordinário evento científico, representou também um marco histórico no desenvolvimento da Física de Partículas em Portugal. Uma consulta à lista de participantes, mostra que houve uma forte participação da maioria dos investigadores que na altura trabalhavam em Física de Partículas, em Portugal. A consulta da lista mostra, também, um caso curioso. A afiliação de uma boa parte dos participantes portugueses era do CFMC (Centro de Física da Matéria Condensada) do Instituto Nacional de Investigação Científica (INIC), que tinha as instalações em Lisboa, no IFM, então designado Complexo Interdisciplinar II. Foi do CFMC que outros Centros de Física de Partículas se formaram. O José Mariano Gago fundou o LIP (Laboratório de Instrumentação e Partículas) em 1986. Com a extinção do INIC em 1992, vários grupos tiveram que sair do Complexo Interdisciplinar II que passou a fazer parte da Universidade de Lisboa. Jorge Dias de Deus fundou o CENTRA (Centro de Astrofísica) no Técnico, embora tenha continuado a trabalhar em Física de Partícu-

las. Eu, com a ajuda dos meus colegas, fundei em 1995, também no Técnico, o Centro de Física de Interações Fundamentais (CFIF), que incluía físicos de partículas e também físicos a trabalhar noutras áreas. Mais tarde, em 2004, o CFIF dividiu-se em dois Centros, tendo-se formado então, em particular, o Centro de Física Teórica de Partículas (CFTP). O LIP e o CFTP lideram hoje a investigação que se faz em Portugal em Física Experimental e Física Teórica de Partículas.

A Conferência Europeia de Física das Altas Energias em Lisboa, com a presença do Feynman, foi sem duvida um importante marco no desenvolvimento da Física de Partículas em Portugal. Com a revolução de Abril, que libertou Portugal de uma longa ditadura de muitas décadas, foi possível o regresso a de muitos cientistas que estavam no estrangeiro. Foi possível nas ultimas quatro décadas colocar Portugal no mapa mundial da Física das Altas Energias. Partimos quase do zero absoluto. Houve um grande otimismo em todos aqueles que acreditaram que era possível estabelecer esta tradição. Pessoalmente, continuo otimista, como sempre, mas estou preocupado com o futuro. Os cientistas “sénior”, que faziam Física de Partículas em Portugal por altura da conferência da EPS de 1981, tinham à volta de trinta e tal anos. Hoje a média de idades está bem acima dos 50 anos. Não houve uma renovação atempada. É muito importante manter uma tradição que foi construída com sucesso, apesar de todas as dificuldades que surgiram no caminho.



Gustavo Castelo-Branco, foi Prof. Catedrático do Instituto Superior Técnico desde 1986, tendo-se jubulado em 2015. Trabalha em teorias electrofracas e é um especialista em Violação de CP. Doutorou-se na City University de New York e foi Research Associate na Universidade de Bonn (1976-1979) e na Universidade de Carnegie Mellon (1979-1981). Teve papel de relevo na criação do GTAE, associação dedicada ao desenvolvimento da Física Teórica de Altas Energias em Portugal, onde foi o seu primeiro presidente. Em 2004, com a ajuda de vários colegas, criou no IST o Centro de Física Teórica de Partículas (CFTP). Recebeu vários prémios em Portugal e internacionalmente, incluindo o prémio Gulbenkian de Ciência, o Humboldt Research Award (2004) e o prémio “Seeds of Science 2009”. Em 2005 foi agraciado com a Ordem Militar de Sant'Iago da Espada.

Lembrando Richard Feynman em Portugal

Mário J. Pinheiro¹

¹ Departamento de Física, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

Conheci o Richard Feynman em 1981, em Lisboa, quando eu era ainda um jovem estudante de Física em Paris. Ele era então um vencedor do Prémio Nobel e um famoso homem de ciência. Naquele tempo não havia a Web, o acesso à informação era bem mais limitado do que nos dias de hoje e naturalmente eu não tinha ideia a mínima ideia da sua aparência, apenas queria conhecê-lo, ter uma ideia concreta do que era uma lenda viva da ciência, do que era um génio. Hoje em dia é possível que a atração pela Física não seja tão pronunciada nas nossas sociedades pós-modernas como era naqueles tempos, talvez, julgo eu, por uma certa indefinição no papel do cientista na incerteza dos tempos atuais. Mas no século passado, por assim dizer, estudar Física, ser um Físico, era algo de verdadeiramente extraordinário. Então passei literalmente durante todo o dia à sua procura durante a Conferência Internacional sobre Física de Altas Energias, que decorreu em Lisboa de 9 a 15 de julho daquele ano. Como eu não sabia como encontrá-lo, aproximei-me e perguntei a Gerhard t'Hooft, que na época ainda não era Prémio Nobel, se sabia onde se encontrava o Feynman. Surpreso com a minha pergunta, t'Hooft respondeu, "Ele passou por mim faz alguns momentos".

Prosseguindo na minha procura por Feynman, notei um homem de aparência relaxada sentado numa cadeira próxima, olhando para mim com uma expressão engraçada no seu rosto. Eu imaginava-me na altura um jovem e solene homem de ciência (!), e naturalmente eu não gostei nada daquela atitude, mostrando a esse sujeito o meu descontentamento com um olhar de desaprovação. Vamos lá! Eu era um estudante sério procurando por Feynman! Mais tarde, perto do final da conferência, eu estava sentado no auditório ouvindo atentamente a palestra dada por t'Hooft quando o homem de olhar divertido se aproximou, sentando-se na mesma fileira de cadeiras. Mais uma vez abertamente, olhava descaradamente para mim. Eu estava tomando

notas com todo o cuidado, ansioso para ver e ouvir a última palestra do dia que seria dada por Feynman. Naturalmente, eu estava irritado com este descaramento! Finalmente, t'Hooft terminou a sua palestra e eu estava feliz porque tinha compreendido o significado da sua apresentação e estava ansiosamente antecipando a palestra que estava programada. Então o próximo orador apareceu no palco. E qual foi o meu espanto quando veio que era o sujeito que me exasperou! Afinal, era Feynman!...

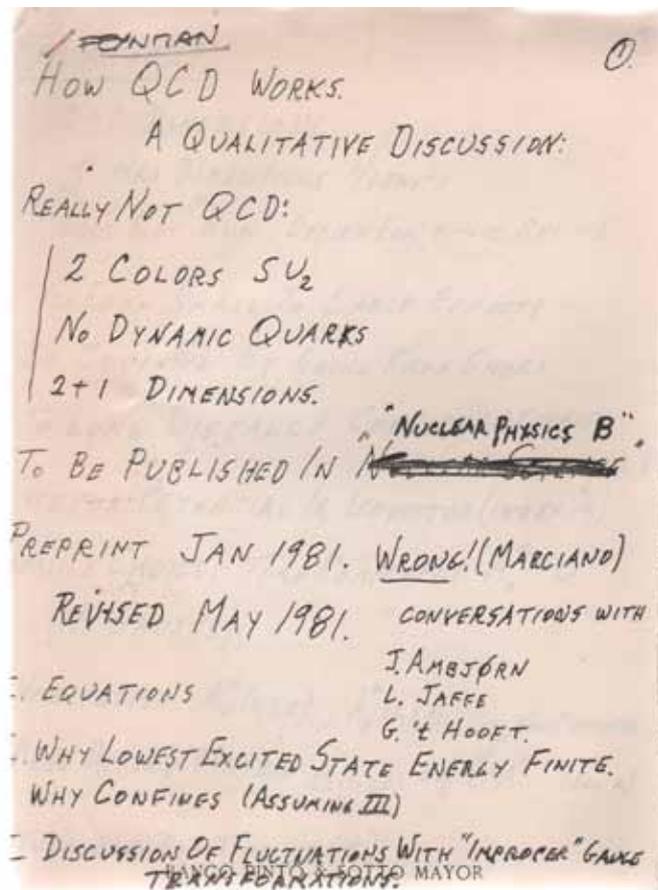


Fig. 1

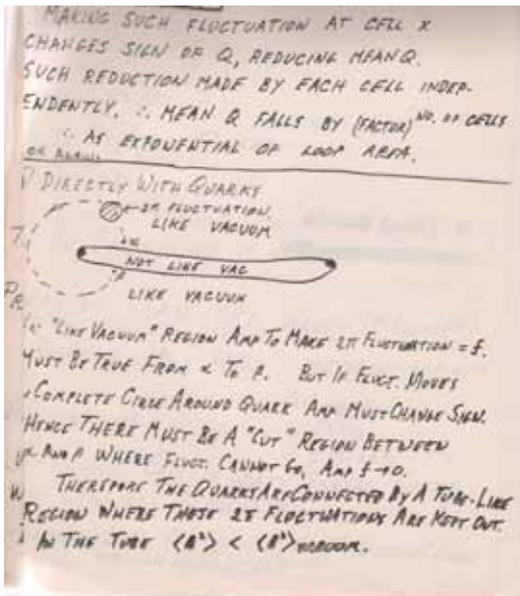


Fig. 2



Fig. 3

Ele deu uma descrição simples e clara de sua própria teoria da cromodinâmica quântica (Fig.1 e Fig.2) e ficou tão à vontade enquanto fazia a sua apresentação que, notando ele

para sair da Fundação Calouste Gulbenkian, onde todo o drama aconteceu, quando inesperadamente, vejo Feynman debruçado sobre uma mesa, apa-

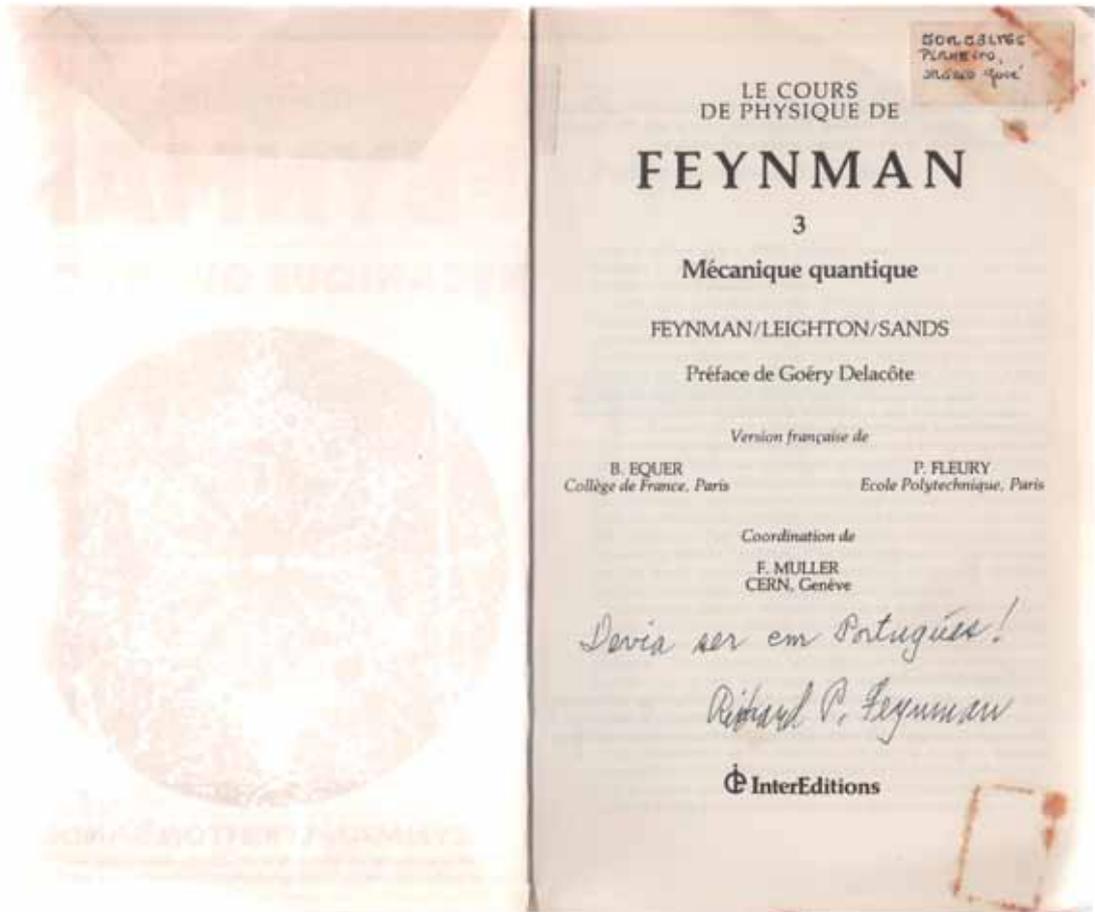


Fig. 4

que inadvertidamente tinha deixado o zíper da calça aberto, ele simplesmente fechou o fecho novamente enquanto continuava sem esforço a explicar as suas ideias geniais. No final do dia, desencorajado pela minha tentativa aventureira, mas mal-sucedida para falar com o Génio, me preparava

rentemente fazendo cálculos (ou desenho?). É bem conhecido que Feynman frequentava em Pasadena o Gianni's topless bar, com consentimento da sua mulher Gweneth. Depois de alguns (bons) momentos observando as dançarinas e bebendo 7-up,

Feynman começava o seu trabalho em teorias da física, ou preparava aulas (haverá alguém que o faça em Portugal?), ou, quem sabe, fazia as três coisas ao mesmo tempo (Fig.3).

Foi então que, evocando toda a minha coragem, fui decidido em sua direção e perguntei: “Você é o Sr. Richard P. Feynman?”. Devo dizer que na época, eu estava acostumado a usar a expressão geral *Messieurs*, como os franceses ainda usam hoje, não importa a posição social do indivíduo, uma consequência da Revolução Francesa e da maneira peculiar desse povo. Ele virou-se lentamente, com uma expressão divertidamente travessa, e respondeu: “Sim, sou eu.” Recordo-me de o observar de baixo para cima pois ele tinha um corpo bastante alto e bronzeado que me olhava diretamente nos olhos, com um brilho próprio. Eu perguntei se ele poderia escrever algo em uma página do livro que eu tinha comigo, um texto sobre mecânica quântica que ele tinha escrito (Fig. 1). Ele respondeu: “Claro, dê-me o seu livro”, e apontou a mão na direção da mala que eu carregava comigo. Ele olhou atentamente para o volume que lhe entreguei, uma tradução francesa dos seus famosos manuais pedagógicos, e, claramente descontente, diz-me (Fig.4): “Devia estar em português!”.

Aquela momentânea indignação transmitiu com beleza a sua convicção de que nós, em Portugal, deveríamos ter literatura científica na nossa própria língua. Seria uma condição essencial para se desenvolver verdadeiramente uma Escola de Física Portuguesa.

Ele então escreveu diretamente no frontispício (Fig. 4) com uma bela caligrafia que parece quase Vitoriana. Logo após me ter devolvido o livro, Feynman diz-me, “Eu vivi 30 anos no Brasil!”. Face à minha perplexidade, Feynman de imediato reconhece ter dito algo errado na sua frase e rapidamente pediu-me desculpas, justificando que às vezes ele confundia Português com Espanhol (na verdade, ele viveu cerca de três anos no Brasil). Com total à vontade, ele continuou caminhando comigo, até mesmo fazendo um gesto para eu esperar por ele enquanto ele dizia adeus a outro físico conhecido. Enquanto caminhávamos lentamente pelas escadas até a porta da saída, perguntei se poderia lhe enviar um artigo que eu havia escrito sobre entropia e ter a sua crítica (na verdade só consegui publicá-lo em 2013, veja a Ref. [1]). Ele imediatamente respondeu em tom assertivo: “Não, absolutamente não!”. Surpreendido e algo temeroso, eu perguntei, “Essa é a sua política?” (usando a palavra errada, porque eu realmente queria dizer “Policy”) “Não, nada de política!”, respondeu mais uma vez com tom autoritário, estacando o passo e olhando para mim com uma expressão severa no rosto. Ele então explicou-me que nunca olhava para o trabalho dos outros, a não ser que esse trabalho se concentrasse nos fundamentos, a não ser que fosse deveras importante;

caso contrário, ele não queria ser distraído e perder tempo. Eu compreendi. Ele falou um pouco mais comigo, abertamente e alegremente, enquanto nos encontrávamos no Hall de entrada da Fundação Calouste Gulbenkian. Até que ele se despediu de mim com um “Boa noite!”. E dali partiu, desaparecendo incógnito na movimentada cidade de Lisboa. Tive certamente a sorte de ter tido a oportunidade de descobrir algumas das características ocultas e autênticas da sua personalidade. Ele era um indivíduo divertido, uma pessoa naturalmente inteligente, mas humilde também - com muita paciência para jovens como eu. Ele desprezava claramente a arrogância e provavelmente evitava as pessoas por causa disso (eu vi-o sozinho a maior parte do tempo). Ali esteve Feynman: *off the beaten track!*

Referências

1. Pinheiro Mario J. Um Método Variacional em Sistemas Físicos Fora-de-Equilíbrio. Sci Rep. 2013 (3): 3454.



Mário J. Pinheiro, fez o doutoramento em Física no Instituto Superior Técnico em cooperação com a Universidade de Orsay-Paris XI. Obteve a Licenciatura na Universidade Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, o Master degree na Universidade de Paris VII-Jussieu, e o “Diplome d’Etudes Approfondies” na Universidade de Orsay Paris-XI. Trabalha na área da física dos plasmas e propulsão electromagnética. É professor no Departamento de Física do Instituto Superior Técnico. Mantém um blog dedicado à compreensão da ciência pelo público: <https://science2be.wordpress.com/>

Os livros de Richard Feynman

Carlos Fiolhais

Departamento de Física, Universidade de Coimbra

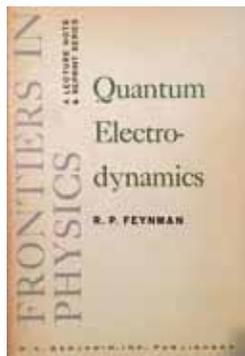


Richard Feynman (© Caltech Archives)

O físico Richard P. Feynman morreu há trinta anos, mas ficaram os seus livros. No centenário do nascimento de Feynman, Prémio Nobel da Física de 1965 conjuntamente com Julian Schwinger e Shin'ichiro Tomonaga pelos seus trabalhos sobre electrodinâmica quântica, apresento aqui e comento uma lista bibliográfica das suas obras.

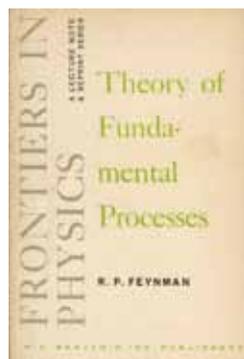
O *corpus* sobre o qual assenta esta lista é o conjunto dos livros de Feynman e sobre Feynman existentes em bibliotecas da Universidade de Coimbra, em particular na Biblioteca de Física e Química da Faculdade de Ciências e Tecnologia (sobretudo obras científicas e pedagógicas) e no Rómulo – Centro Ciência Viva da Universidade de Coimbra (sobretudo obras de divulgação). Todos estes livros podem ser consultados ou eventualmente requisitados nessas bibliotecas. Decerto que noutras bibliotecas equivalentes se encontram outros exemplares. Os títulos encontram-se aqui divididos em obras científicas, obras pedagógicas e obras de divulgação. Dentro de cada categoria as obras são listadas por ordem cronológica de publicação.

1. Obras científicas



Quantum electrodynamics: a lecture note and reprint volume. Richard P. FEYNMAN; New York: W.A. Benjamin, 1961.

Este livro reúne textos de conferências e alguns artigos originais da investigação científica de Feynman que lhe valeu o Nobel: a electrodinâmica quântica (QED, do inglês Quantum Electrodynamics). O físico trabalhou em QED entre 1939 e 1947 (a sua tese de doutoramento, sob a orientação de John Archibald Wheeler, é de 1942). À data deste livro o Nobel não passava de uma possibilidade...



The theory of fundamental processes: a lecture note volume. Richard P. FEYNMAN; H. T. Yura; New York: W. A. Benjamin, 1961. (Frontiers in Physics).

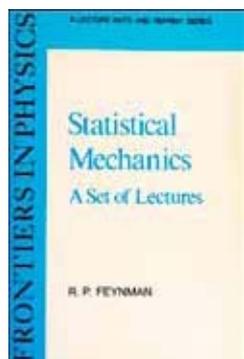
Um outro volume sobre QED e outras teorias quânticas de campo.



Quantum mechanics and path integrals. Richard P. FEYNMAN; A.R. Hibbs; New York: McGraw-Hill, 1965. (International Series in Pure and Applied Physics).

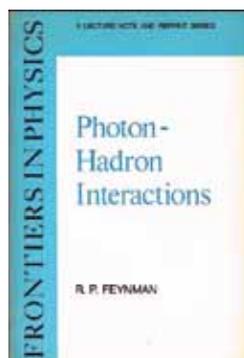
Feynman é bem conhecido por ter desenvolvido uma formulação alternativa da teoria quântica. Os integrais de caminho, que têm o seu nome, representam a evolução quântica de um sistema de um sítio para outro como a soma de todas as trajectórias clássicas

com um certo “peso” associado. Trata-se de uma das maneiras de relacionar a física quântica com a física clássica. Este é o volume clássico sobre o assunto.



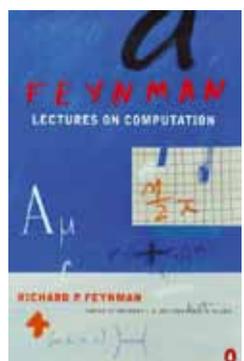
Statistical mechanics: a set of lectures. Richard P. FEYNMAN; Reading, Massachusetts: W.A. Benjamin, 1972.

A física estatística vista por Feynman, que dedicou uma parte da sua carreira a estudar fenómenos da física a baixas temperaturas, como a superfluidez do hélio e a supercondutividade.



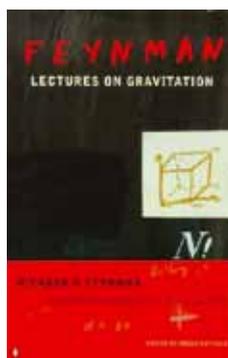
Photon-hadron interactions. Richard P. FEYNMAN; New York: W.A. Benjamin, 1972.

Um outro volume sobre teoria quântica de campos, combinando a QED com a física nuclear. Feynman trabalhou no modelo dos partões da interação forte (os partões eram afinal os quarks).



Feynman lectures on computation. Richard P. FEYNMAN; London: Penguin Books, 1997.

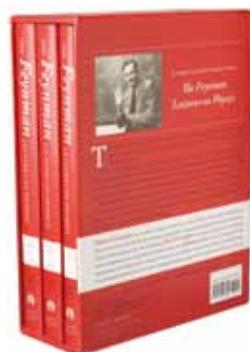
Feynman ficou também famoso por ser um dos pioneiros da computação quântica. Fez trabalhos visionários no início dos anos 80 sobre simuladores quânticos.



Feynman lectures on gravitation. Richard P. FEYNMAN; London: Penguin Books, 1999.

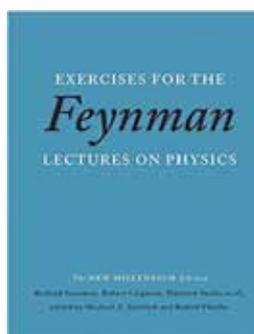
Da série Feynman lectures, este volume contém algumas das suas aulas sobre a teoria da relatividade geral. Feynman debruçou-se sobre a gravidade quântica. De facto, nenhum assunto da física lhe era estranho.

2. Obras pedagógicas



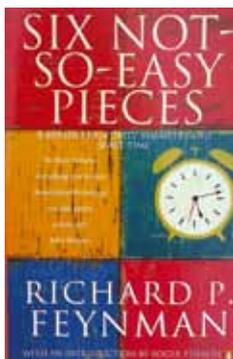
The Feynman lectures on physics. Richard P. FEYNMAN; Robert B. Leighton; Mathew Sands; Reading, Massachusetts: Addison-Wesley, 1963-1965. 3 Vols.

Esta é a obra pedagógica maior de Feynman, os “três livros vermelhos”, que correspondem às suas originais aulas de Física Geral na Universidade de Cornell, em Los Angeles. Indispensável na estante de qualquer físico, embora não possa ser considerado um texto padrão para uma introdução à Física. Contudo, cheio de *insights*, faz as delícias de quem já está minimamente familiarizado com a Física a um nível superior. A teoria quântica, em particular, é exposta de um modo iluminante com base na experiência das duas fendas. Existe uma edição brasileira destes volumes (Bookman, 2008)



Lectures on physics: exercises. Richard P. FEYNMAN; Robert B. Leighton; Mathew Sands; Reading, Massachusetts: Addison-Wesley, 1964-1965. 3 vols.

Este é o volume de exercícios (resolvidos) associados às Feynman Lectures on Physics. Foi também publicado um outro volume complementar: Richard P. Feynman, Michael A. Gottlieb e Ralph Leighton - Feynman's Tips on Physics: reflections, advice, insights, practice – A problem-solving supplement to the Feynman lectures on Physics, New York: Basic Books, 2nd ed. 2013.



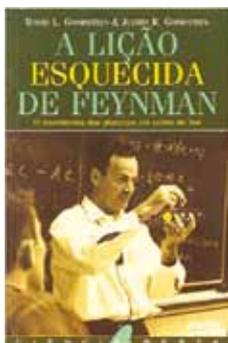
Six not-so-easy pieces: Einstein's relativity, symmetry and space-time. Richard P. FEYNMAN; London: Penguin Books, 1999.

Com base nas Feynman Lectures esta é uma selecção de textos sobre matérias mais avançadas de física.



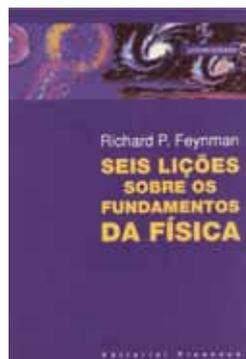
O que é uma lei física? Richard P. FEYNMAN; Tradução de Carlos Fiolhais. 1.ª Ed. Lisboa: Gradiva, 1989. (Ciência Aberta; 35). Original: *The character of physical law*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1970 (1.ª ed., 1967).

Este volume, que tanto pode ser considerado pedagógico como de divulgação, corresponde a uma série televisiva para a BBC-2 que Feynman gravou na Universidade de Cornell em 1994. Os vídeos encontram-se hoje na Internet, por cortesia de Bill Gates, fundador da Microsoft, que nutre uma grande admiração pelo físico: <https://www.microsoft.com/en-us/research/project/tuva-richard-feynman/>. Uma nota pessoal: este livro foi a minha primeira tradução do inglês e foi um grande prazer fazê-la, porque passei a conhecer melhor o idiossincrático estilo de Feynman. Gostei particularmente do último capítulo sobre a teoria quântica.



A lição esquecida de Feynman: o movimento dos planetas em torno do Sol. David L. Goodstein; Judith R. Goodstein, Tradução de Maria Alice Gomes da Costa. Lisboa: Gradiva, 1997. (Ciência Aberta; 88).

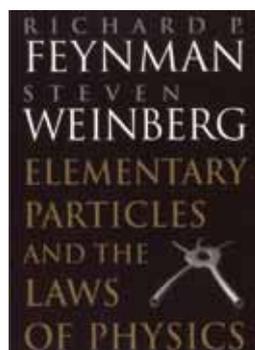
Um físico e uma arquivista de Cornell “ressuscitaram” uma lição das Feynman Lectures que não chegou a ser dada. O assunto são as leis de Kepler do movimento planetário, mas Feynman consegue ser original a respeito de qualquer assunto.



Seis lições sobre os fundamentos da física. Richard P. FEYNMAN; Tradução de Maria Teresa Escoval. 1ª Ed. Lisboa: Presença, 2000. (Universidade Hoje; 13). Original: *Six easy pieces: essentials of physics explained by its most brilliant teacher*. 3.ª imp. New York: Addison-Wesley, 1995.

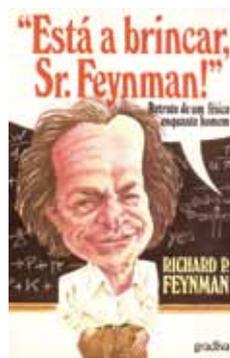
Estas são lições relativas à matéria mais básica das Feynman Lectures.

3. Obras de divulgação



Elementary particles and the laws of physics: the 1986 Dirac Memorial Lectures. Richard P. FEYNMAN, Steven Weinberg; Cambridge UK: Cambridge University Press, 1987.

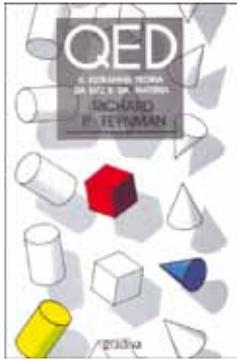
Duas conferências de dois Nobel da Física (um deles ainda vivo), tentando transmitir de um modo simples e sumário o que é a física moderna do mundo microscópico.



'Está a brincar, Sr. Feynman!': retrato de um físico enquanto homem. Richard P. FEYNMAN; Tradução de Isabel Neves. Lisboa: Gradiva, 1988. (Ciência Aberta; 21). Original: *'Surely you're joking, Mr. Feynman!': adventures on a*

curious character. London: Unwin Paperbacks, 1986. (Counterpoint); original: New York: W.W. Norton & Co., 1984.

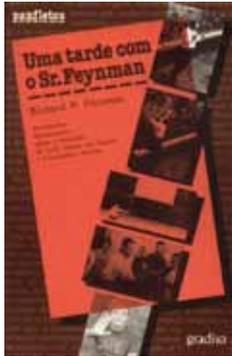
Este é o primeiro dos dois volumes clássicos de Feynman em que ele conta algumas das interessantíssimas histórias que viveu ao longo da sua vida. A conclusão de qualquer leitor só pode ser que Feynman era um verdadeiro personagem! Pode interessar a qualquer pessoa, mesmo de fora da física e, em geral, da ciência, sendo uma pena que a maior parte dos jovens estudantes de ciência de hoje não conheçam estes volumes saídos entre nós há vinte anos.



QED: a estranha teoria da luz e da matéria. Richard P. FEYNMAN; Tradução de Ana Maria Ovidio Baptista, ver. científica de António Manuel Baptista 1.^a Ed. Lisboa: Gradiva, 1988. (Ciência Aberta; 25). 2.^a Ed. (revista), Lisboa, Gradiva, 2015 (Ciência Aberta, 213). Original: *QED: the strange theory of light and matter*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1985.

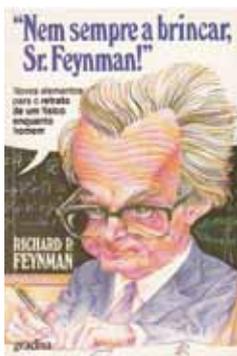
Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1985.

Esta é a apresentação popular da QED pelo seu autor. Não sendo um livro fácil, é, porém, um clássico da divulgação pelo esforço colocado pelo autor em tornar inteligível, sem usar matemática, o assunto de física avançada que ele ajudou a criar. Vale bem o esforço.



Uma tarde com o Sr. Feynman: que é a ciência?, Conferência Nobel e outros textos. Richard P. FEYNMAN; Introdução, apresentação, notas e tradução de A. M. Nunes dos Santos, C. Aurette. Lisboa: Gradiva, 1991. (Panfletos Gradiva, 16).

Dois professores da Universidade Nova de Lisboa reuniram neste livro a tradução portuguesa da Conferência Nobel e outros textos breves. Recomendo, em particular, a lição “Que é a ciência?” que ele proferiu em 1966 à associação de professores de ciência americanos. O original da conferência Nobel, que sumaria o seu trabalho em QED, está em *The development of the space-time view of quantum electrodynamics: Nobel Lecture, 1965*. [Stockholm]: The Nobel Foundation, 1966



“Nem sempre a brincar, Sr. Feynman!”: novos elementos para o retrato de um físico enquanto homem. Richard P. FEYNMAN; Tradução de Maria Georgina Segurado. 3.^a Ed. Lisboa: Gradiva, 2004. (Ciência Aberta, 37). Original: *What do you care what other people think?: further adventures of a curious character*. London: Unwin Hyman,

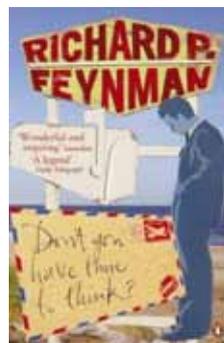
1989; original: New York: W.W. Norton & Co., 1988.

Este é o segundo volume dos dois com histórias de Feynman. Na linha do anterior, faz as delícias não apenas dos estudantes e professores de Física como de todas as pessoas interessadas na ciência ou simplesmente na biografia de um cientista excêntrico. É aqui que se encontram os seus textos sobre o desastre do vaivém Challenger, da NASA, ocorrido em 1986. Feynman não só pertenceu à Comissão de Inquérito, juntamente com o primeiro homem a pisar a Lua, Neil Armstrong, mas foi também quem descobriu a causa do acidente: uma anilha que não funcionou bem a baixas temperaturas no dia frio de Janeiro em que foi lançado o vaivém no Centro Espacial Kennedy, na Florida.



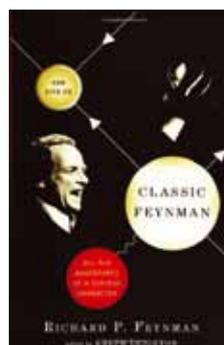
O significado de tudo: reflexões de um cidadão-cientista. Richard P. FEYNMAN; Tradução de José Luís Fachada. 2.^a ed. Lisboa: Gradiva, 2005. (Ciência Aberta; 110). Original: *The meaning of it all: thoughts of a citizen scientist*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley, 1998. (Helix Books).

Este livro contém as conferências públicas que ele proferiu na Universidade de Washington em 1963. Aborda as relações da ciência com a política, com a religião, com a pseudo-ciência, etc.



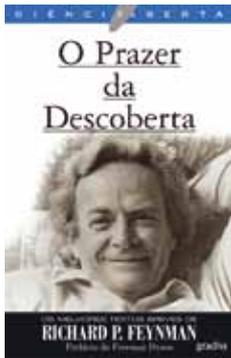
Don't you have time to think? Richard P. FEYNMAN; Edição e comentários de Michelle Feynman. London, Penguin, 2005.

Uma espécie de auto-biografia em forma epistolar editada pela filha, Michelle. É muito famosa uma carta que o físico escreve à primeira mulher, Arline, já depois de ela ter morrido de tuberculose, num sanatório do Novo México quando ele trabalhava no projecto Manhattan da bomba atómica em Los Alamos.



Classic Feynman: all the adventures of a curious character. Richard P. FEYNMAN; Ed. Ralph Leighton. New York: W.W. Norton and Co., 2006.

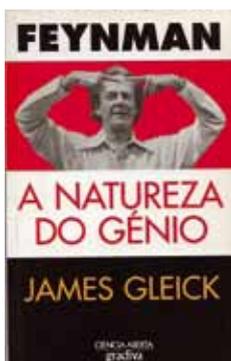
Edição conjunta dos dois “clássicos” contendo num só tomo as divertidas histórias de Feynman.



O prazer da descoberta: os melhores textos breves de Richard Feynman. Richard P. FEYNMAN; Organização de Jeffrey Robbins; Tradução de Ana Correia Moutinho. 2.^a Ed. Lisboa: Gradiva, 2011 (Ciência Aberta; 151).

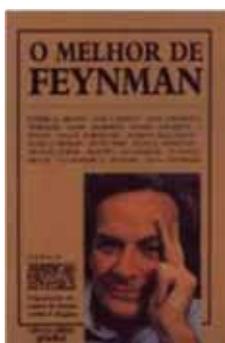
Esta é uma colectânea dos melhores textos breves de Feynman, incluindo conferências, entrevistas e artigos. Destaco o artigo “Há muito espaço lá em baixo” dirigido à assembleia da Sociedade Americana de Física em 1959, e que marca o início da nanotecnologia, e a entrevista “O homem mais inteligente do mundo” dada em 1979 à revista Omnia. Aparece aqui também a conferência “Que é a ciência”, publicada noutro livro da Gradiva.

4. Obras sobre Richard Feynman e a sua obra



Feynman: a natureza do génio. James Gleick; Revisão científica de Carlos Fiolhais; Tradução Ana Falcão Bastos e Luís Leitão. 1.^a Ed. Lisboa: Gradiva, 1993. (Ciência Aberta; 61). Original: *Genius: Richard Feynman and modern physics*. London: Little, Brown and Company, 1992.

A primeira biografia de Feynman, escrita pelo jornalista de ciência norte-americano que se celebrou com o livro: Caos. A construção da nova ciência (Ciência Aberta, 38). Combina a descrição da vida com a da obra científica. Lê-se muito bem e continua a ser uma excelente fonte sobre a vida de Feynman.



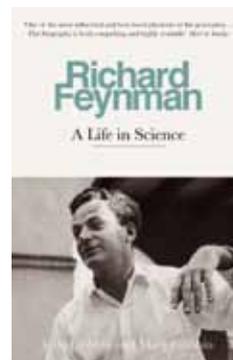
O melhor de Feynman: evocação da vida e obra de Richard Feynman. Laurie M. Brown e John S. Rigden (coords.), Organização e tradução de Luís Leitão. 1.^a Ed. Lisboa: Gradiva, 1994 (Ciência Aberta; 69).

Depoimentos sobre Feynman pelos seus familiares, amigos e colaboradores. Entre eles encontram-se Freeman Dyson, Hans Bethe, Murray Gell-Mann, John Wheeler e Julian Schwinger



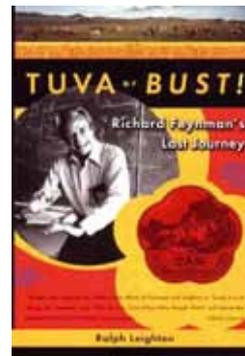
- **QED and the men who made it: Dyson, Feynman, Schwinger, and Tomonaga.** Silvan S. Schweber; Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1994

A história da criação da que é considerada a teoria física mais precisa, com a ênfase nos seus criadores que foram co-recipientes do Nobel da Física de 1965. Dos nomes do título, Dyson (ainda vivo) foi o único que não recebeu o Prémio Nobel.



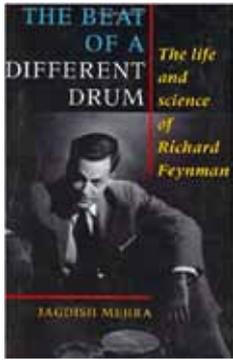
Richard Feynman : a life in science. John Gribbin, Mary Gribbin; London: Viking, 1997.

Segunda biografia de Feynman, por um casal inglês que é autor de vários livros de divulgação científica. Escrita num estilo mais leve do que a anterior.



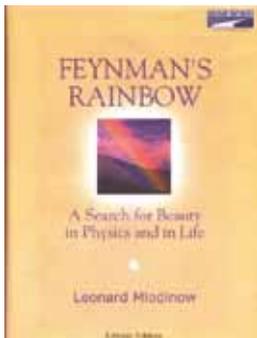
Tuva or bust: Richard Feynman's last journey. Ralph Leighton; New York: W.W. Norton & Co., 2000.

Um colaborador próximo de Feynman (co-autor das Feynman Lectures on Physics) presta homenagem a Feynman, descrevendo um dos seus projectos que, devido à doença terminal, não chegou a ser concretizado: visitar a República de Tuva, no coração da Ásia, que pertenceu à antiga União das Repúblicas Socialistas Soviéticas e hoje pertence à Federação Russa. De onde vinha esse interesse: curiosidade intelectual, por Tuva ser o coração da Ásia.



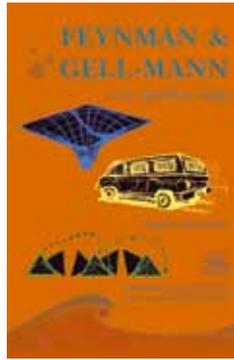
The beat of a different drum: the life and science of Richard Feynman. Jagdish Mehra; Oxford: Clarendon Press, 2000. Original de 1994.

Terceira biografia de Feynman, da autoria de um físico teórico e historiador de ciência indo-americano, indo além da primeira, ao incorporar dados novos. Foram publicadas depois dessa outras biografias de Feynman: Henderson, Harry - Richard Feynman: Quarks, Bombs, and Bongos Chelsea House Pub, 2010, Krauss, Lawrence - Quantum Man: Richard's Feynman's Life in Science, W.W. Norton & Co, 2011, Halpern, Paul – The Quantum Labyrinth: how Richard Feynman and John Wheeler revolutionized time and reality, New York: Basic Books, 2017, e Resag, Jörg - Feynman and his Physics: the life and science of an extraordinary man, Berlin: Springer, 2018.



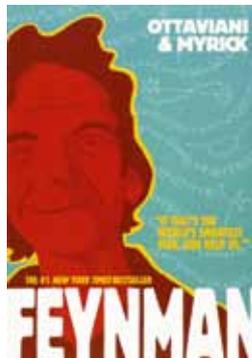
Feynman's rainbow: a search for beauty in physics and in life. Leonard Mlodinow; New York: Warner Books, 2003.

Um físico teórico norte-americano, que, como post-doc em Cornell, colaborou com Feynman e que é autor de outros livros de divulgação científica (em português, O Passeio do Bêbado, O Grande Desígnio e Brevíssima História do Tempo, os dois últimos escritos em colaboração com Stephen Hawking e publicados na coleção Ciência Aberta da Gradiva), presta aqui homenagem ao seu mestre usando o seu nome no título, que resultou dos diálogos entre os dois.



Feynman & Gell-Mann: luz, quarks, ação. Rogério Rosenfeld; 1.^a Ed. São Paulo: Odysseus, 2003. (Imortais da Ciência).

Livro de divulgação científica brasileiro com ênfase na biografia de dois grandes físicos do século XX: o co-autor da QED, a teoria dos electrões e dos fotões, e o co-autor do conceito de quark, que viria a estar na base da QCD (cromodinâmica quântica, teoria dos quarks e gluões, construída à semelhança da QED. Os dois publicaram em conjunto.



Feynman. Desenhos de Leland Myring; cor de Hilary Sycamore. Jim Ottaviani; New York: First Second, 2011.

Banda desenhada de autores norte-americanos que narra a vida de Feynman. Uma excelente introdução gráfica à vida e obra do físico.

Boas leituras!



Carlos Fiolhais, doutorado em Física Teórica pela Universidade Goethe em Frankfurt (1982), é professor no Departamento de Física da Universidade de Coimbra. Tendo trabalhado em Física Nuclear e em Física da Matéria Condensada usando meios computacionais, dedica-se desde há muitos anos à comunicação de ciência.

Mais recentemente, tem-se dedicado à História da Ciência. É autor de dezenas de livros, incluindo manuais e obras de divulgação. Dirige a coleção "Ciência Aberta" da Gradiva.

Um ano na fronteira do infinitamente pequeno

Sofia Andringa^{1,5}, Nuno Castro^{1,2,5}, Ricardo Gonçalo^{1,3,5}, Orlando Oliveira^{4,5}

¹ Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas - LIP

² Departamento de Física da Universidade do Minho

³ Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa

⁴ Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

⁵ Divisão de Física de Partículas da Sociedade Portuguesa de Física

O ano que passou trouxe várias descobertas na fronteira do infinitamente pequeno, o domínio onde impera a Física de Partículas. Neste artigo, fazemos uma viagem pelas últimas novidades do mundo das partículas, com passagem por experiências e teoria que exploram uma realidade por vezes mais fantástica do que qualquer trabalho de ficção.

Experimentalmente, a Física de Partículas é investigada em experiências que não podiam ser mais diversas: desde gigantescos aceleradores como o LHC, a experiências que cabem numa pequena sala (mas conseguem uma inigualável precisão em medidas muito específicas¹), até experiências que procuram antimatéria no Espaço ou matéria escura nas profundezas da terra. A própria atmosfera terrestre ou o gelo do Polo Sul são usados para procurar raios cósmicos ou neutrinos de enorme energia, ligando a Física de Partículas à Astrofísica, o infinitamente pequeno e o infinitamente grande.

1. O LHC – a máquina dos infinitos

Nesta viagem, não podemos tentar visitar todos os portos. Em vez disso escolheremos algumas paragens, começando pelo LHC², uma das mais fantásticas ferramentas de investigação de que dispomos (Figura 1). Desde há quase uma década, as experiências do LHC têm trazido uma enorme quantidade de avanços, que pouco a pouco vão respondendo a velhas questões, fazendo medidas com melhor precisão, ou levantando novas e mais profundas questões.

Se tivéssemos que escolher apenas uma descoberta, de entre os muitos triunfos alcançados até à data pelo LHC, esse seria sem dúvida a descoberta do bosão de Higgs em 2012. Esta era a última partícula elementar ainda não observada

que era prevista pelo Modelo Padrão da Física de Partículas – o conjunto de teorias com que explicamos o mundo sub-nuclear. Mas é também central para o seu funcionamento, permitindo a unificação das forças electromagnética e nuclear fraca, regularizando cálculos teóricos que de outro modo seriam infinitos, e integrando de forma natural as massas das partículas elementares. Numa frase, o bem testado Modelo Padrão da Física de Partículas não funcionaria sem o mecanismo de Higgs, de que o bosão é a prova experimental.

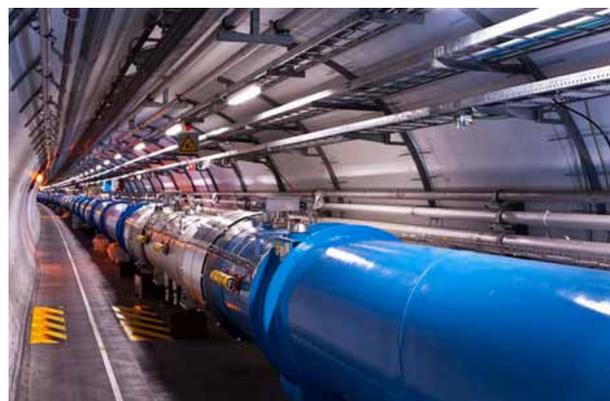


Fig. 1 - uma pequena parte do túnel do LHC onde se veem ímanes supercondutores dipolares que conduzem a órbita dos feixes, a azul, e ímanes quadripolares, a branco, que focam os feixes. (imagem: CERN Genebra)

Mas é hoje claro que isto não é o fim da história. Ou como diria o príncipe Hamlet, há realmente mais mistérios no céu e na Terra do que explica a física que hoje conhecemos: desde a matéria escura que circunda as galáxias até à força misteriosa que acelera a expansão do Universo, passando por perguntas aparentemente simples, como “para onde foi a antimatéria criada no Big Bang?”, “pode o bosão de Higgs ser a janela que precisamos para descobrir esta física nova desconhecida?” ou ainda “porque têm as partículas elementares massas tão diferentes?”.

¹ Por exemplo na medida de um dipolo elétrico do elétron, com implicações importantes na possibilidade da existência de uma “nova física” não prevista no modelo padrão.

² O LHC (Large Hadron Collider, em inglês) é o grande colisionador de partículas do CERN, o Laboratório Europeu de Física de Partículas, em Genebra na Suíça.

A descoberta do bóson de Higgs abriu finalmente a possibilidade de medir as suas propriedades e interações com outras partículas conhecidas. O progresso conseguido desde então é assombroso. Hoje, devido ao trabalho colaborativo de alguns milhares de físicos das experiências ATLAS e CMS, conhecemos a massa do bóson de Higgs com uma precisão de 0,2 %, e observámos com segurança as suas interações mais importantes com outras partículas conhecidas. Os últimos episódios importantes nesta história aconteceram já em 2018.

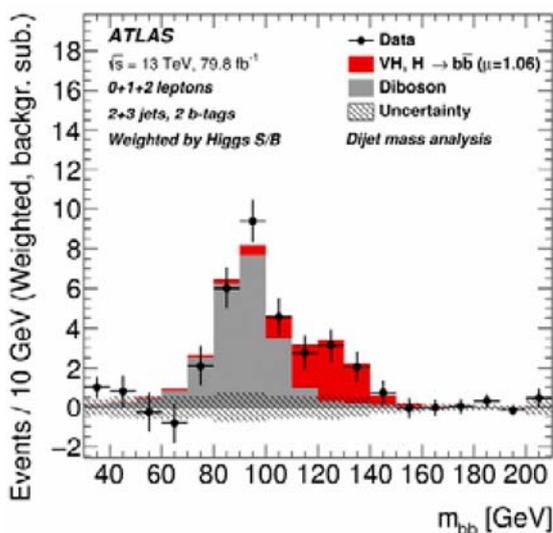


Fig. 2 - massa do bóson de Higgs medida através da sua desintegração num par de quarks b (a vermelho) sobreposto ao ruído de fundo. Os pontos representam os dados medidos experimentalmente. As zonas a cinzento e vermelho correspondem a dados simulados. (imagem: ATLAS Collaboration/CERN)

No início do verão, as experiências ATLAS e CMS publicaram vários artigos documentando medidas da taxa de produção do bóson de Higgs em diferentes reações. Estas medidas de precisão permitem sondar com enorme detalhe se o Higgs é tal como previsto no Modelo Padrão ou se, pelo contrário, há diferenças devidas a física nova. Isto é, de cada vez que se reduzem as incertezas experimentais, reduz-se o espaço livre para os efeitos do desconhecido. É um cerco, em que cada centímetro conquistado ao desconhecido é ganho à custa de mais dados e de muito trabalho de investigação!

De entre os resultados publicados em 2018, o lugar de destaque é com certeza para a observação, há muito esperada, da interação do Higgs com os quarks beauty e top (ou b e t). Quarks são os constituintes fundamentais de prótons e neutrões que formam os núcleos atômicos. A sua interação com o bóson de Higgs depende da sua massa. Quanto maior esta for, maior é a intensidade da interação. E os quarks b e t são os mais pesados que existem na Natureza. O top é a partícula elementar conhecida com maior massa, semelhante à de um átomo de ouro!

Mas a medida destas interações é um verdadeiro pesadelo experimental: por cada colisão no LHC

onde o Higgs se desintegra num par de quarks b (Figura 2), o sinal óbvio da sua interação mútua, são produzidos cerca de 20 milhões de colisões que resultam num par de quarks b mas que não provêm do Higgs. É como procurar uma agulha em centenas de palheiros! O quark top é demasiado pesado para ser produzido na desintegração de um bóson de Higgs. Por outro lado, a sua produção em simultâneo com um Higgs (Figura 3) assinala a interação entre estes dois tipos de partículas. Mas esta observação é igualmente um enorme desafio à criatividade e perseverança dos experimentalistas. Ambos estes desafios foram vencidos em 2018, com a publicação quase simultânea de artigos pelas experiências ATLAS e CMS para cada um destes processos.

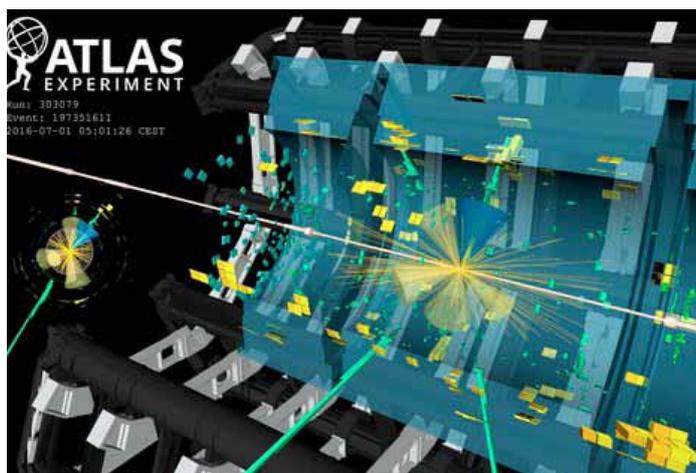


Fig. 3 - imagem de uma colisão de prótons em que foi provavelmente produzido um bóson de Higgs juntamente com um par de quarks top. Os prótons circulam no tubo que atravessa a figura, e os produtos do decaimento do Higgs e quarks top é registado pelos detetores em torno da colisão. (imagem: ATLAS Collaboration/CERN)

Claro que as experiências do LHC investigam muito mais do que o bóson de Higgs. Voltando ao quark top, a sua elevada massa faz com que desempenhe frequentemente um papel importante em teorias que procuram ir para além do Modelo Padrão. Fornece assinaturas experimentais muito características em colisionadores hadrónicos como o LHC, o que permite um vasto leque de medidas de precisão e pesquisas de novos fenómenos.

Em 2018, houve várias novidades em medidas associadas ao quark top, por exemplo com a observação de colisões onde foram produzidos um par de quark-antiquark top com elevado momento (Figura 4). Uma outra medida a destacar foi a da produção simultânea de quatro quarks top, anunciada pela colaboração ATLAS. É um processo extraordinariamente raro no Modelo Padrão, e a taxa de produção revelou-se um pouco acima do esperado, embora este excesso não seja estatisticamente significativo. O acumular de mais dados e o desenvolvimento de técnicas de análise mais avançadas dir-nos-ão se esta diferença se deve, ou não, a novos fenómenos não previstos no Modelo Padrão da Física de Partículas.

Também empolgantes foram as medidas de precisão do ângulo entre dois eletrões ou muões originados pela desintegração dos quarks top e anti-top produzidos numa mesma colisão. Esta grandeza é sensível à correlação entre os

spins dos dois quarks. Um desvio em relação à previsão teórica pode ser um indicio de nova física. E foi isso mesmo que se observou nestes resultados (ver Figura 5), criando uma grande animação na comunidade. No entanto, foi recentemente relatado por um grupo de físicos teóricos que cálculos mais precisos poderão explicar a diferença. Aguardamos ansiosamente por mais novidades neste tópico!

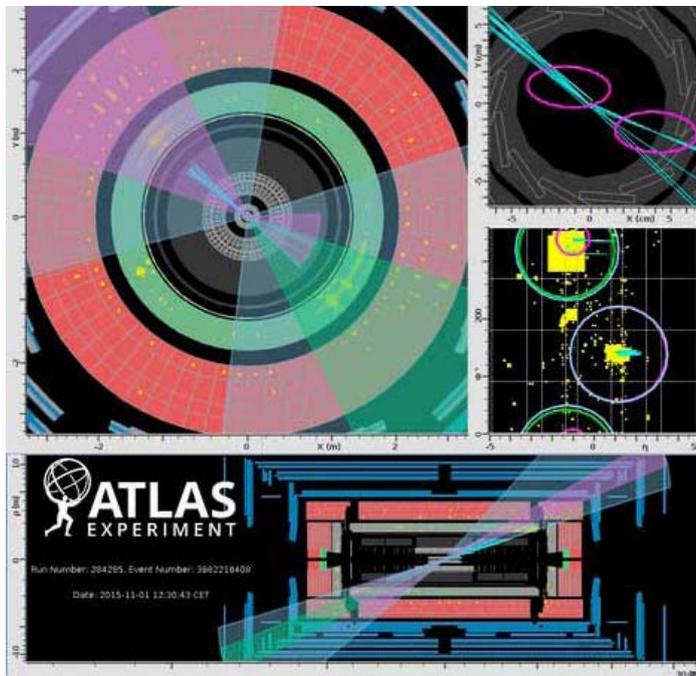


Fig. 4 - Colisão de prótons compatível com a produção simultânea de quarks top e anti-top em que os produtos de decaimento dos quarks tops surgem colimados devido ao seu elevado momento. (imagem: ATLAS Collaboration/CERN)

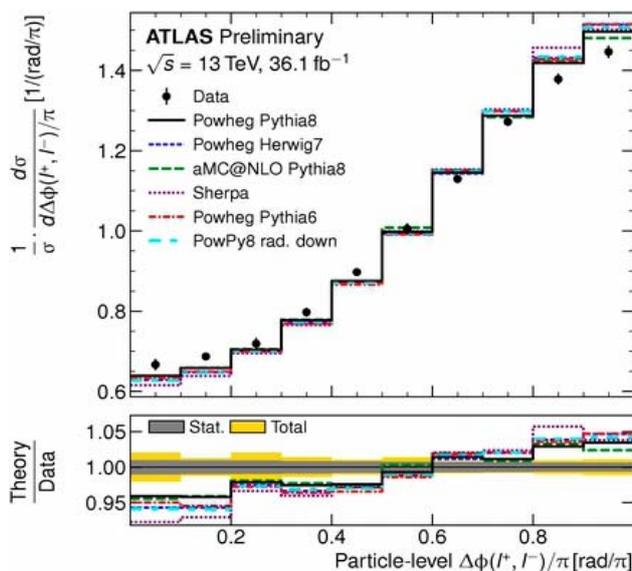


Fig. 5 - Medida da secção eficaz diferencial da produção de pares top/anti-top em função da diferença de ângulo azimutal entre os leptões carregados. A medição (círculos) mostra uma aparente discrepância com várias previsões teóricas (histogramas), que tem causado uma grande animação na comunidade. (imagem: ATLAS Collaboration/CERN).

A pesquisa de novos fenómenos de Física, tais como novas partículas ou novas interações, está frequentemente ligada aos processos com quarks top, seja porque as novas interações favorecem o acoplamento ao top, seja porque as novas partículas são preferencialmente produzidas em associação com o top ou decaem para estes quarks.

Um exemplo disto são os quarks vectoriais, novas partículas propostas por diversos modelos que tentam explicar a enorme diferença entre as massas das partículas conhecidas.

Este ano foi frutuoso na quantidade de pesquisas por estes quarks vectoriais, recorrendo-se a diversos estados finais para procurar assinaturas de física para além do Modelo Padrão. Infelizmente não encontramos ainda evidências de tais partículas, estando os limites inferiores na massa de diversos tipos de quarks vectoriais já bem acima do teraeletrãovolt, ou TeV. De igual forma, a pesquisa por novos leptoquarks, novos bosões, estrutura nas partículas fundamentais do Modelo Padrão, partículas super-simétricas ou possíveis mediadores que acoplem a partículas responsáveis pela matéria escura não resultou, até ao momento, num novo paradigma da Física de Partículas.

No entanto, o LHC ainda irá obter muitos mais dados do que os acumulados até agora! E estes dados adicionais poderão vir a revelar um novo mundo à espreita para além dos limites explorados até ao momento. Para isso, o LHC vai fazer enormes melhoramentos, nos seus ímanes supercondutores, colimadores, cavidades de aceleração, etc. para recolher mais dados, e mais depressa, até ao fim do seu programa em 2035. As experiências ATLAS e CMS, com a participação importante de grupos de físicos portugueses, vão fazer grandes mudanças nos seus detetores e sistemas de electrónica. Levarão os próximos dois anos a executar esse trabalho, para em seguida voltar a observar colisões no LHC com mais precisão, que permitam investigar mais a fundo a natureza e propriedades do bosão de Higgs, procurar quarks vectoriais, fazer medidas de quarks top e investigar muitos outros assuntos na fronteira do nosso conhecimento.

2. Os novos observatórios – notícias do mundo das “astropartículas”

A paragem seguinte na nossa viagem é na área das partículas que nos chegam do Espaço, mensageiras que nos trazem informação sobre zonas distantes do Universo.

Sabemos que existem objetos cósmicos que podem acelerar partículas a energias (enormes!) da ordem de 1 joule por próton, mas não sabemos ainda quais são. Copiando a tecnologia do LHC, seria necessário um acelerador com o perímetro da órbita de Mercúrio para produzir prótons com estas energias. Mas não é fácil encontrar no Espaço campos magnéticos tão elevados como os do LHC. Sendo as trajetórias de partículas carregadas desviadas pelos campos magnéticos, torna-se difícil identificar as suas fontes. Uma estratégia é procurar partículas neutras: fótons e neutrinos, criados pela interação de prótons e núcleos

atômicos, seja diretamente nas fontes ou no caminho até nós. Estas partículas apontarão uma direção, que idealmente indicará um fenómeno identificável por outro tipo de experiência.

Nas notícias da Física de Partículas em 2018, destaca-se a publicação das observações de dois eventos cósmicos estudados através de múltiplos mensageiros. Para estas observações, juntaram-se astrónomos amadores, telescópios clássicos, detetores na Terra, no Espaço, e em laboratórios subterrâneos, etc. e desta vez também detetores de ondas gravitacionais!



Fig. 6 - Detetor de Hanford, no estado de Washington, do observatório de ondas gravitacionais LIGO - Laser Interferometer Gravitational-Wave Observatory. (imagem: Caltech/MIT/LIGO Lab)

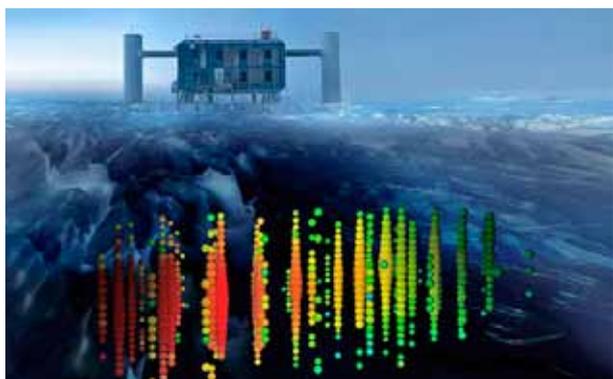


Fig. 7 - Experiência IceCube - detetor que usa 1km³ de gelo do Polo Sul para procurar a passagem de neutrinos de muito alta energia. Em baixo na imagem pode ver-se a representação de um destes eventos. (imagem: IceCube Collaboration)

Em agosto de 2017, os novos detetores de ondas gravitacionais³ LIGO e VIRGO – interferómetros com braços perpendiculares de 4 km (Figura 6) – registaram os últimos dois minutos da história de duas estrelas de neutrões, que aceleram numa espiral até se fundirem. Segundos depois, foi identificada uma explosão de raios gama na mesma direção. E, algumas horas depois, foi identificada a galáxia de origem das estrelas de neutrões. Esta aumentou de brilho em comprimentos de onda desde o rádio aos raios-X, permitindo a observação durante vários dias

³ Ondas gravitacionais são perturbações do espaço-tempo, que se propagam à velocidade da luz por todo o Universo, induzindo variações nas distâncias. Passaram 100 anos desde a previsão da sua existência até à primeira detecção, que foi distinguida com o Prémio Nobel de 2017.

de uma KiloNova e, pela primeira vez, do fenómeno que a originou.

Em setembro do mesmo ano, a experiência IceCube – 1 km³ de gelo instrumentado no Pólo Sul (Figura 7) – detectou um neutrino de energia tão elevada que ativou um alerta para os vários observatórios. Neste caso, foi observado o aumento de brilho de uma galáxia, originado por um blazar BL-Lac. Estes objetos têm largos períodos de repouso, interrompidos por grandes emissões quando apontam um jacto de partículas na nossa direção.

Isto não é tudo novo: há muito que as observações nos vários comprimentos de onda electromagnéticos são postas em conjunto, e em 1987 já houve um caso de observação conjunta com neutrinos, embora de energias muito menores. Num mesmo minuto, três detetores verificaram um grande aumento do fluxo de neutrinos. Três horas depois foi detetada uma SuperNova tão brilhante que era mesmo visível a olho nu. A emissão da SuperNova SN1987A nos vários comprimentos de onda é seguida até hoje, tendo os neutrinos dado um contributo único para compreender este tipo de fenómeno.

O que mudou entretanto? Em primeiro lugar, as primeiras detecções de ondas gravitacionais demonstraram que fenómenos como a fusão de estrelas de neutrões ou de buracos negros não são tão raros como se pensava. E, se no caso das estrelas de neutrões a fusão pode ser observada por outros meios, a fusão de buracos negros tem apenas um mensageiro: as ondas gravitacionais. Os detetores de raios gama, usando técnicas da Física de Partículas, passaram também a mapear o céu em comprimentos de onda antes invisíveis para nós, e encontrando novas fontes desconhecidas de luz. Os detetores de neutrinos passaram a funcionar em rede, de forma que uma SuperNova na nossa galáxia ou próxima, não passe despercebida. Por outro lado, há agora observatórios sensíveis a neutrinos com uma gama de energias muito maior. Os neutrinos de alta energia podem servir para identificar as fontes de maior energia do Universo. Finalmente, os detetores de raios cósmicos cobrem hoje todo o céu, e juntam várias técnicas que permitem ter maior confiança nas suas medições.

As “astropartículas” continuam a ser exploradas no âmbito da Física de Partículas, mas o diálogo com outras áreas da física, está a potenciar a área e trará com certeza muitos resultados importantes nos próximos anos.

3. Os mistérios da força forte

A última paragem nesta viagem é na fronteira da física teórica de partículas. Mais especificamente no estudo da força forte, responsável pela existência de prótons e neutrões.

Uma das componentes do Modelo Padrão, a interação de cor, envolve quarks e gluões. Esta teoria, designada por Cromodinâmica Quântica (QCD na sigla em inglês), foi formulada na década de 70 do século passado, mas a sua resolução e compreensão tem-se revelado particularmente difícil. A dificuldade resulta da falta de métodos apropriados para resolver as equações fundamentais que surgem em QCD.

As partículas fundamentais da QCD, os quarks e os gluões, não são observados na Natureza. Surgem sempre na forma

de hádrões que aparecem como partículas constituídas por 3 quarks, designados por bárions (por exemplo prótons e neutrões), ou por pares de quark-antiquark, que designamos por mesões (por exemplo o pião que associamos à interação nuclear a longas distâncias). Em princípio, a teoria permite também a formação de outro tipos de estados ligados, como por exemplo, bolas de glúões ou estados formados por múltiplos quarks.

A descrição da interação entre quarks é um primeiro passo para que se consiga compreender a formação de prótons e, posteriormente, a formação de núcleos atômicos o que permitirá entender a Física Nuclear, as propriedades das estrelas de neutrões e os detalhes da evolução do Universo. A massa do próton resulta da própria dinâmica da QCD, e o mecanismo de Higgs tem aqui uma contribuição insignificante⁴.

A determinação das massas dos hádrões é um cálculo de referência para validar a teoria da QCD. Este objectivo tem sido prosseguido ao longo dos anos, melhorando a cada ano a

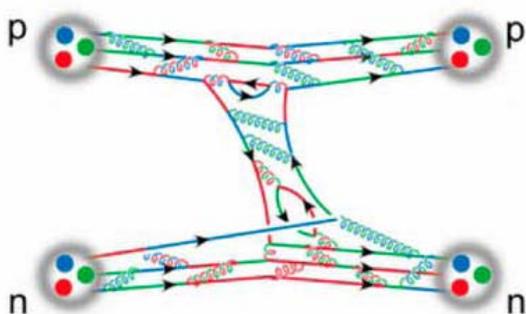


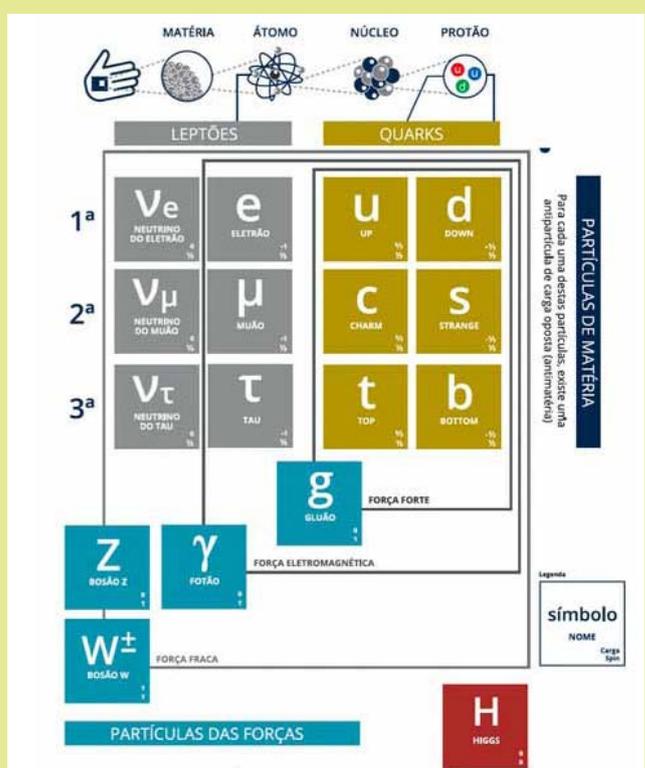
Fig. 8 - Descrição da interação nuclear

precisão do cálculo de primeiros princípios e procuram incorporar detalhes como, por exemplo, a diferença de massas devidas à interação electromagnética ou a diferença de massa entre quarks u e d .

Um estudo com implicações profundas na nossa compreensão do Universo é a procura da descrição da interação nuclear a partir de primeiros princípios. Do ponto de vista da teoria, a interação nuclear é um processo complexo que envolve a participação de todas as componentes da teoria (Figura 8). Apesar da dificuldade do problema, há vários grupos que se têm dedicado a este tema procurando obter o potencial nuclear.

O potencial nuclear é um objecto complexo que depende dos números quânticos dos prótons e neutrões. Na Figura 9, ilustramos a componente central do potencial nuclear determinado pela colaboração HAL. Os resultados de outros estudos são similares. Dada a complexidade do problema em si mesmo, as simulações a partir de primeiros princípios não são completamente realistas e ainda há um grande esforço a realizar para as aproximar das condições observadas na Natureza. Apesar das limitações, há uma intensa atividade que estuda sistemas que envolvem mais do que dois nucleões, como a espectroscopia de sistemas de dois nucleões, o comportamento da dinâmica em meios com densidade finita, como por exemplo no plasma de quarks e glúões, só para mencionar alguns.

A física de partículas descreve a matéria à nossa volta como sendo constituída por aglomerados de partículas elementares, que compõe as moléculas e átomos com que estamos familiarizados. Os prótons e neutrões que compõe o núcleo atômicos são eles próprios constituídos por partículas elementares, os quarks. Atualmente, a física de partículas é descrita por um conjunto de teorias conhecidas como Modelo Padrão. Além de definir o conjunto de partículas elementares conhecidas, classificadas como quarks e leptões — o electrão que conhecemos há mais de um século é um leptão — o Modelo Padrão descreve as várias forças entre as partículas elementares de matéria como sendo exercidas pela troca de outras partículas, os bosões mensageiros — o fóton, nosso conhecido como o corpúsculo que constitui a luz que usamos para ver, é um bosão mensageiro. As partículas de matéria têm spin $\frac{1}{2}$, enquanto que os bosões mensageiros têm spin 1. As forças fundamentais que conhecemos são: a força eletromagnética, que afeta todas as partículas com carga elétrica e é transmitida pela troca de fótons; a força nuclear forte, que afeta apenas os quarks e é transmitida pela troca de glúões; a força nuclear fraca, transmitida pelos bosões W^+ , W^- e Z , e a força gravítica, a mais familiar das forças, mas cuja descrição quântica continua um mistério para a física e não é descrita pelo Modelo Padrão. Finalmente, o bosão de Higgs, com spin zero, apesar de não transmitir uma força, ocupa um lugar central na teoria do Modelo Padrão.



Partículas elementares constituintes da matéria e partículas transmissoras das forças fundamentais, ou “bosões mensageiros”. (Imagem: LIP - exposição “Partículas - do bosão de Higgs à matéria escura”)

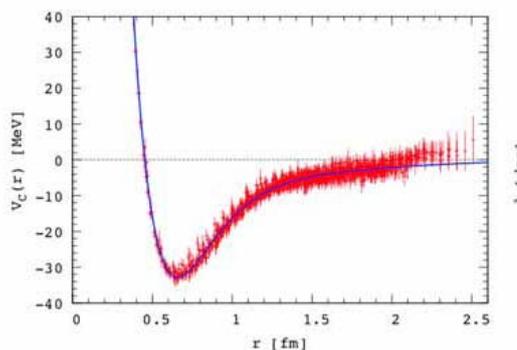


Fig. 9 - Uma das componentes do potencial nuclear. (imagem: HAL Collaboration, arXiv:1811.06232 [hep-lat])

Além destes exemplos, a interação de cor tem um papel essencial em muitos outros, como nas propriedades do quark top, ou o factor giromagnético do muão (uma das grandezas medidas com mais precisão em física de partículas), etc. Nos últimos anos tem-se, por isso, assistido a muita atividade no desenvolvimento de novas técnicas para a realização destes cálculos.

4. O fim da viagem?

Não, claro! Apenas um começo, para aguçar o apetite para o que nos reserva o próximo ano. E muito mais haveria a dizer. Não seria fácil cobrir todas as áreas num campo vibrante de atividade como a física das partículas.

Contactos:



Divisão de Física de Partículas da SPF (particulas@spf.pt)

Sofia Andringa (sofia@lip.pt)

Nuno Castro (Nuno.Castro@cern.ch)

Ricardo Gonçalo (Jose.Goncalo@cern.ch)

Orlando Oliveira (orlando@uc.pt)

Links úteis:

Divisão de Partículas da SPF: https://www.spf.pt/fisica_particulas

Astronomia multi-mensageiros (notícia LIP e outros links): <https://www.lip.pt/?section=press&page=news-details&id=620>

Resultados das experiências ATLAS e CMS do LHC (páginas públicas): <https://atlas.cern/updates/physics-briefing/>
<https://cms.cern/news/category/382>

HAL Collaboration (Hadrons to Atomic Nuclei) ver p/ex: <https://arxiv.org/abs/1811.06232>



Sofia Andringa Investigadora no LIP – Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas. Doutorada pelo Instituto Superior Técnico, com uma tese sobre pesquisas do Higgs em LEP, fez um primeiro pós-doc em Barcelona, no Institut de Física d'Altes Energias, em K2K – a primeira experiência de confirmação da oscilação de neutrinos. A sua investigação foca-se em física experimental de neutrinos (em SNO+ e DUNE) e na deteção de raios cósmicos de muito alta energia no Observatório Pierre Auger.



Nuno Castro Professor Auxiliar no Departamento de Física da Universidade do Minho e Diretor do LIP – Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas. Doutorou-se na Universidade de Coimbra e foi Investigador de pós-doutoramento no Departamento de Física Teórica e dos Cosmo da Universidade de Granada, tendo também sido Professor Convidado no Departamento de Física e Astronomia da Universidade do Porto. Desenvolve a sua investigação na pesquisa de novos fenómenos de Física em colisionadores de partículas, em particular no sector do quark top. É membro da Colaboração ATLAS do CERN desde 2004.



Ricardo Gonçalo Investigador no LIP – Lab. de Instrumentação e Partículas e Professor Convidado na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Foi assistente de investigação no Imperial College, onde se doutorou, e no Royal Holloway College da Universidade de Londres. Contribuiu para a descoberta do bóson de Higgs na experiência ATLAS do CERN, onde continua a investigar as propriedades desta partícula.



Orlando Oliveira Professor Auxiliar com Agregação no Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra e membro do Centro de Física da Universidade de Coimbra. Doutorou-se na Universidade de Edimburgo. Desenvolve a sua investigação na área das interações fortes, em particular no da estrutura não-perturbativa da QCD.

⁴ O mecanismo de Higgs que é responsável pela massa de partículas elementares, contribui apenas para cerca de 1 % da massa do protão, contida nos quarks que o constituem. O resto é "energia de ligação" determinada pela QCD.

Entrevista com Michael Kosterlitz

Patrícia F.N. Faísca¹ e Rui D.M. Travasso²

¹ Departamento de Física e BioISI - Biosystems and Integrative Sciences Institute, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Campo Grande, Ed. C8, 1749-016 Lisboa, Portugal

² Departamento de Física e CFisUC - Centro de Física da Universidade de Coimbra, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, R. Larga 3004-516 Coimbra, Portugal

Preâmbulo

O Professor Michael Kosterlitz esteve recentemente em Portugal a convite da Sociedade Portuguesa de Física (SPF) para participar na conferência FÍSICA2018 que teve lugar na Universidade da Beira Interior entre 29 de agosto e 1 de setembro. A FÍSICA2018, organizada pela SPF e pela Universidade da Beira Interior, consistiu na junção de dois encontros: a 21^a Conferência Nacional de Física, e o 28^o Encontro Ibérico para o Ensino da Física. Deste modo, a FÍSICA2018 foi um encontro frutífero entre investigadores, professores (desde o ensino secundário ao ensino superior) e alunos, interessados na partilha de experiências e no debate do estado da arte da investigação em Física. A palestra plenária do Professor Michael Kosterlitz intitulada “Topological defects and phase transitions – Vortices and dislocations (A random walk through physics to a Nobel Prize)” teve lugar no âmbito da 21^a Conferência Nacional de Física, um evento bianual que congrega investigadores que desenvolvem a sua investigação em Portugal em todas as áreas da Física com o objetivo de apresentarem os seus resultados mais recentes à comunidade.

Durante esta visita, o Professor Michael Kosterlitz foi entrevistado por Patrícia Faísca (do Departamento de Física e do BioISI da Universidade de Lisboa) e por Rui Travasso (do Departamento de Física e do CFisUC da Universidade de Coimbra).

Nota biográfica

O Professor Michael Kosterlitz tem o título de “Professor Harrison E. Farnsworth” de Física na Universidade de Brown (em Providence, Rhode Island, nos Estados Unidos da América), onde ensina e faz investigação desde 1982. Nasceu em Aberdeen (na Escócia, Reino Unido) em 1943. Estudou na Universidade de Cambridge entre 1961 e 1966, e completou o doutoramento em Física na área de altas energias na Universidade de Oxford em 1969. Entre 1970 e 1973, trabalhou como investigador pós-doutorado na Universidade de Birmingham na área



da Física da matéria condensada, sob a orientação de David Thouless. Juntos publicaram um artigo [1] sobre transições de fase em sistemas a duas dimensões (e em particular no modelo de spins XY), onde introduziram um novo tipo de parâmetro de ordem de longo alcance que designaram por ordem topológica. Este parâmetro descreve um novo tipo de transição de fase (que ficou conhecida como transição de Kosterlitz-Thouless, KT) e que é análoga à transição de fase observada quando um filme de hélio-4 se torna superfluido. A importância deste trabalho foi reconhecida com a atribuição do Prémio Nobel da Física em 2016, que partilhou com David Thouless e com Duncan Haldane. Antes de ter recebido o Prémio Nobel, as suas contribuições já tinham sido reconhecidas com o Prémio Onsager (2000), e com a Medalha de Maxwell (1981). O seus interesses atuais prendem-se com a Física em sistemas fora do equilíbrio. Na sua juventude, o Professor Michael Kosterlitz foi um montanhista exímio, e durante vários anos o seu mantra foi “primeiro a escalada, depois a Física e finalmente a família” [2]. Foi considerado um dos melhores atletas de escalada da sua geração e, em 2017, ganhou o Prémio de Embaixador da Escalada atribuído na Arco Rock Legends. Este prémio reconhece “quem, através da sua paixão, energia e visão, guiaram e influenciaram o desenvolvimento desta atividade desportiva”.

Como é que o ambiente na sua casa de infância despertou a sua curiosidade pela ciência?

Os meus pais não tentaram influenciar os meus estudos. Eu gravei naturalmente para a Matemática e para as ciências porque tenho uma má memória, e todos os temas na área das humanidades requeriam demasiada memória. Por isso não lidava muito bem com eles. Mas descobri que Matemática e ciência não requeriam demasiada memória, e conseguia abordá-las usando a lógica e dedução, o que se adequava mais à minha forma de aprender.

O seu pai também era investigador. Olhava para ele como um exemplo a seguir?

Sim, ele era fisiologista, mas estava mais interessado na investigação do que em qualquer outra coisa. Acho que a razão pela qual não segui os passos dele no campo da fisiologia foi porque quando eu tinha cerca de 10 anos ele costumava levar-me para o seu laboratório, e lembro-me vividamente de encontrar um gato no caixote do lixo.

Na sua biografia apresentada no site Nobel [2], mencionou que conseguia ter melhores resultados em Física e em Matemática do que em Química pois a sua “capacidade de fazer deduções lógicas compensava a sua memória pouco fiável”. Foi esta a razão principal pela qual decidiu tornar-se um físico?

Acho que sim. Uma outra razão é que apesar de gostar bastante de Química, decidi que era demasiado perigoso. Uma vez, estava eu a segurar um tubo de ensaio com um líquido incolor, e a decidir o que fazer com ele, quando notei que mudava de cor sem qualquer razão aparente. Foi então que Pum! Explodiu! Então decidi que a Química não era para mim, pois é demasiado perigoso. A Química era divertida quando conseguia controlar a explosão de alguma coisa, mas apercebi-me de que nem sempre a conseguia controlar. Então decidi não, isto é demasiado perigoso. A Física teórica é muito mais segura.



Cerimónia de entrega do Prémio Nobel em Física

Na sua opinião, quais são as vantagens principais de tirar um curso de Física? Acha que uma formação em Física é a melhor maneira de desenvolver a capacidade de resolver problemas?

Sim, acho que a Física é capaz de ser a única disciplina onde se aprende a resolver problemas. Na Matemática o que se aprende é sobre problemas que já foram resolvidos, enquanto que na Física os problemas são dados sob a forma de um conjunto de palavras que escondem um problema, e a pessoa aprende primeiro a compreender o problema, e depois a resolvê-lo. Penso que a Física é uma boa disciplina por este motivo.

Em 2017, i.e. um ano após ter recebido o Prémio Nobel da Física, recebeu o Prémio de Embaixador da Escalada dado na Arco Rock Legends.

Como classifica a importância deste prémio?

Para mim é tão importante quanto o Prémio Nobel.

Há muitos físicos que partilham consigo a paixão pela escalada e pelo montanhismo (ex. Henry Kendall que recebeu o Prémio Nobel da Física em 1990). Porque é que acha que isto acontece? O que é que atrai a “mente do físico” para as montanhas?

Não sei. Não acho que Física e a escalada tenham uma ligação particular. No meu caso acontece que essas são as minhas duas paixões. Eu adoro escalar e pensei seriamente em desistir da Física para fazer escalada profissional. No entanto, o meu pai e a minha mulher opuseram-se fortemente a essa ideia e ganharam. Acabou por ser uma sorte para mim, pois poucos anos depois adoeci, e tive de parar de fazer escalada. Pelo menos tinha outra ocupação a que me dedicar.

Quando fazia escalada conseguia pensar mais claramente sobre Física, ou, pelo contrário, libertava completamente a sua mente da Física?

A escalada atraía-me porque gosto de correr riscos. O que a investigação em Física e a escalada têm em comum é que em ambos os casos dão-se passos para o desconhecido, e estamos por nossa conta. A única diferença é que uma é mental e a outra é física. Em Física o preço a pagar por um erro é menor. Na escalada esse preço inclui a morte.

Tirou o curso em Cambridge e depois mudou-se para Oxford para o seu doutoramento em física de altas energias, tendo terminado com um pós-doutoramento nos Estados Unidos. Aí teve a oportunidade de conviver e colaborar com outros investigadores (Ken Wilson e Michael Fisher) que tiveram um papel crucial no desenvolvimento da teoria do grupo de renormalização e no estudo de fenómenos críticos. Como avalia a importância deste período para a sua carreira em geral e, em particular, para o desenvolvimento da teoria da transição de Kosterlitz-Thouless (KT)?

Na verdade, foi ao contrário. O trabalho pelo qual obtivemos o Prémio Nobel foi feito em Birmingham, e posteriormente o David Thouless arranjou-me um pós-doutoramento na Universidade de Cornell. Ou seja, a seguir a Birmingham fui para Cornell. Esse período não foi muito importante para o desenvolvimento da teoria da transição KT pois a maior parte do trabalho já tinha sido desenvolvida antes de eu ir para Cornell. O grupo de renormalização que usei na transição KT foi inspirado num artigo escrito por Anderson, Yuval e Hammann [3]. Em Cornell aprendi o grupo de renormalização de Wilson e Fisher, e usei-o para explorar outras transições de fase.

Não é simples explicar a transição de fase KT ao público em geral pois requer bastantes conhecimentos de Física. Ensina a transição KT aos seus alunos? Como é que a explicaria de forma resumida?

Eu não a ensino aos alunos do curso de Física, pois acho que talvez seja demasiado sofisticada para esse nível de ensino. No entanto, ensino a transição KT em cursos de pós-graduação avançados. Eu diria que se estiver interessado em aprender transições de fase, e se quiser perceber

como uma película fina de hélio passa do estado superfluido ao estado normal, então a única maneira de compreender a dissipação de energia no escoamento de um superfluido é através da criação de vórtices; é por esse motivo que a teoria da transição KT é sobre as propriedades de um conjunto de vórtices em duas dimensões. A parte boa de ser em duas dimensões é que os vórtices se transformam em pontos, e essa é a principal razão pela qual eu e o David Thouless estudámos o problema em duas dimensões. O David disse que os vórtices são importantes, mas complicados em três dimensões, e por isso deveríamos olhar para o sistema a duas dimensões.



Michael Kosterlitz na FÍSICA2018 - 21ª Conferência Nacional de Física e 28º Encontro Ibérico para o Ensino da Física, na Universidade da Beira Interior.

As transições KT são observadas em vários sistemas bidimensionais (modelos XY, superfluidos, condensados de Bose-Einstein, processos de fusão etc.). De entre os sistemas descobertos recentemente que exibem a transição KT qual ou quais salientaria?

Acho que uma das aplicações mais interessantes é o trabalho recente em gases frios: átomos frios e nuvens de átomos frios. Se construirmos um sistema bidimensional deste tipo é possível observar uma transição KT e, surpreendentemente, a teoria descreve os resultados experimentais bastante bem, apesar de não tão bem como no caso de um superfluido, ou da fusão a duas dimensões. Estas transições estão associadas exatamente à mesma Física que descreve a superfluidade do hélio, mas a nuvem de átomos é demasiado pequena para obter resultados experimentais muito bons.

Durante o seu trabalho na transição KT teve a sensação de descoberta? Era óbvio para si que este novo tipo de transição teria um grande impacto na comunidade?

É preciso ter em conta que este foi o primeiro problema de física da matéria condensada em que estive envolvido. Antes disso trabalhei em física de altas energias, e senti-me bastante frustrado por não conseguir fazer progressos. Fiz cálculos longos e complexos praticamente para nada. Comecei a ficar farto desta situação em Birmingham e decidi que teria de trabalhar noutro problema. Perguntei a todos os docentes do departamento se alguém tinha um problema

no qual eu pudesse trabalhar porque precisava de fazer algo novo. Em geral a resposta era "Não". Até ter chegado ao David Thouless. Fiz-lhe a pergunta e passei as duas horas seguintes no gabinete dele a ouvi-lo falar sobre vários fenómenos diferentes e a escrever equações enquanto eu olhava para o quadro, a perceber muito pouco do que ele dizia. Por fim tive que admitir que não estava a entender o que ele estava a dizer, e pensei que iria parecer um completo idiota quando lhe disse: "David, peço desculpa, mas tenho de o interromper neste ponto. Pode explicar-me de onde veio a primeira equação que escreveu?" Ele olhou para mim e perguntou: "Eu não disse?" E eu respondi honestamente: "Não." Então ele disse "Oh!" e deu uma explicação muito clara. A partir desse momento passámos a entendermo-nos muito bem, e o resto é história. Eu estava muito nervoso por ter de ir ao gabinete do Thouless porque ele tinha uma reputação de ter pouca paciência para gente tola, e, pelos seus padrões, quase todos pareciam ignorantes. Eu sabia que ao ir falar com ele estava a candidatar-me a parecer um ignorante completo. Mas por sorte ele fez aquele erro, e a partir daí decidi que sempre que eu não entendesse o que ele dizia, iria assumir que ele se tinha esquecido de dizer alguma coisa importante. E funcionou. Acabamos por nos dar muito bem. O resto do departamento tinha medo do Thouless; ele era uma pessoa que sabia tudo sobre tudo. E, como referi, quase todas as pessoas em comparação com ele eram ignorantes. Quando uma pessoa se aproximava para lhe perguntar uma coisa, ele respondia educadamente, mas de tal forma que fazia a pessoa sentir-se idiota.

Isso acontecia porque ele era demasiado sofisticado na sua resposta?

Não, na verdade não. Ele sabia tudo sobre tudo e ao mesmo tempo estava preparado para estudar novos problemas. E quando ele explicava alguma coisa – não importava o quê – fazia-o de uma forma muito condescendente. Ele não procurava ser condescendente, apenas tentava explicar muito claramente. E eu sentia-me como um idiota porque a sua explicação era sempre tão clara que dava a sensação que eu deveria ter sabido a resposta.

Quanto tempo demorou desde o seu primeiro encontro com o Thouless no gabinete dele até resolverem o problema que levou ao Prémio Nobel da Física?

18 meses.

Foi um pós-doutoramento muito produtivo...

Sim. Eu tinha um post-doc de três anos. O primeiro foi desperdiçado a tentar fazer alguma coisa em altas energias. Depois desisti dessa ideia e ao andar pelo departamento encontrei o gabinete do David Thouless. Falámos no quadro sobre transições de fase em duas dimensões, e as ideias dele eram tão claras e tão óbvias que me fui embora a

pensar nelas. As ideias dele eram muito controversas. Mas para mim o que ele dizia era tão óbvio que deviam estar certas. Isto, apesar de ser uma Física completamente nova para mim e diferente de tudo o que tinha feito até então. Para mim, que não tinha qualquer conhecimento convencional da área, aquela parecia-me a forma correta de pensar nos problemas e tudo fazia sentido. Juntámos as ideias e basicamente chegamos à solução do problema.

Como não vinha da área da física da matéria condensada, não se apercebeu naquela altura da dimensão da vossa contribuição. Correto?

Não, não fazia ideia. Para mim e para o Thouless era apenas um problema interessante que precisava de uma solução, e essa foi a única razão pela qual o estudámos. Um problema teórico fascinante.

Quando é que começou a sentir o impacto do vosso trabalho?

Como disse, foi a minha primeira incursão pela matéria condensada e pensei que era assim que a Física deveria ser. Algo de novo, algumas ideias novas, e a possibilidade de juntar tudo e chegar a um resultado novo. Naquela altura o Thouless disse que o que tínhamos feito era muito bom e deveria ser importante. Foi tudo o que pensámos sobre o assunto. Apenas sabíamos que tínhamos feito uma coisa boa. Escrevemos o artigo e tivemos alguma dificuldade em publicá-lo pois era demasiado inovador. Mais tarde descobrimos que um dos árbitros disse “Eu não entendo isto”, mas deixou passar e foi publicado. Não foi citado durante os primeiros 5-6 anos – nem sequer uma citação – e depois começou a ter citações. Mais tarde o Halterin e o Nelson refizeram a teoria de uma forma mais simples chegando aos mesmos resultados, e foi a partir daí que o trabalho começou a ganhar popularidade.

Anos mais tarde foi-lhe atribuído o Nobel da Física. Como mudou a sua vida depois de ter ganho o Prémio Nobel?

Em termos de trabalho não se alterou muito, mas tenho viajado demais. Tenho dado tantas palestras e viajado tanto que no último ano praticamente não me sobra tempo. O curso que ensino foi seriamente prejudicado porque praticamente não tenho estado lá. Só estou em Providence durante a semana e no fim de semana tenho de viajar de avião para ir dar uma palestra. Às vezes estou fora durante uma semana ou mais, o meu curso ressent-se muito e eu fico bastante exausto. Demasiadas viagens e demasiadas palestras. Tenho viajado por toda a parte e a vida tornou-se uma loucura. Quando soube do Prémio Nobel fiquei muito satisfeito. Diverti-me imenso em Estocolmo e foi uma semana fantástica, e depois os convites começaram a vir, e a vida tornou-se uma loucura.

Num artigo de revisão recente sobre a física da transição KT [4] diz que quando passou de Física de altas energias para física da matéria

condensada estava à procura de um problema interessante, mas tratável. Nestes dias, na era em que a investigação para ser financiada tem de ter um impacto societal claro, trabalhar num problema interessante não é necessariamente o caminho para uma carreira de sucesso em ciência. Acha que as políticas correntes de financiamento têm um impacto negativo no desenvolvimento da ciência e do progresso científico?

Sim e não. O progresso científico precisa de dinheiro para que as pessoas possam ser pagas para fazer investigação. Nesse sentido, as agências de financiamento são bastante importantes para dar apoio aos cientistas. Contudo, as agências de financiamento estão normalmente interessadas em investigação dirigida para as aplicações, em vez de darem liberdade aos investigadores para fazer o que querem. E a investigação dirigida desta forma tem menos possibilidades de gerar avanços científicos. Os avanços resultam da investigação por curiosidade. No entanto, as hipóteses de se conseguirem avanços a partir de um projeto de investigação são na realidade muito baixas, e não é possível decidir que se vai financiar uma certa pessoa porque ela vai revolucionar a ciência. É mais parecido com girar a roleta e apostar vários milhares de dólares em como um certo projeto de investigação vai ser importante. O mais provável é perder a aposta, mas pontualmente sai o jackpot. Mas não muitas vezes. Não sei o que se pode fazer porque os investigadores têm de ser pagos para viver, para trabalhar e para produzir ciência original. Mas pagar dinheiro não significa que teremos garantida essa ciência original. Não sei como se pode fazer.

É um defensor do trabalho computacional?

Nem por isso. Eu só optei pelo trabalho computacional quando tinha problemas que não era capaz de resolver de outra forma. Se não se conseguir resolver um problema e se lhe atirmos com um computador, com sorte talvez se possa fazer alguma coisa.

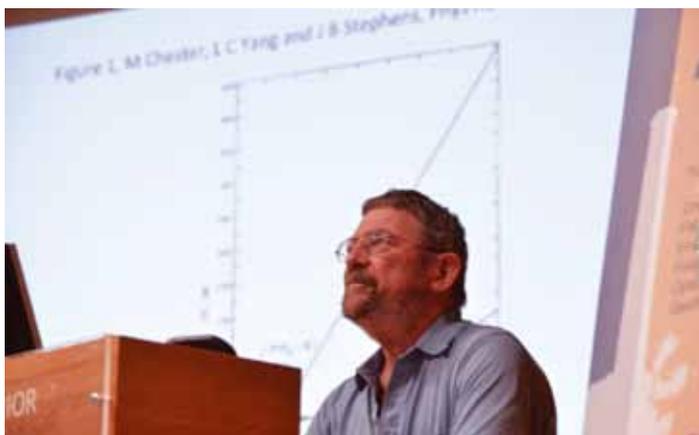
Pela nossa experiência, modelação e simulação são normalmente entendidas (pelos nossos colegas experimentalistas) como uma previsão teórica. Acha que esta perspetiva é universal às ciências físicas? Como vê no futuro o papel da modelação e da simulação na ciência e na descoberta científica?

Na realidade, eu não pensei muito sobre este assunto porque se deve pensar com cuidado sobre um problema antes de o atacar com um computador. O trabalho analítico deve ser feito primeiro. Quando não se pode desenvolver mais a parte analítica, então usa-se o computador. É provável que assim se consiga compreender melhor o problema. Mas acho que devemos olhar para o computador apenas como uma ajuda. Trata-se de uma ferramenta, uma calculadora melhorada. Acho que há algumas coisas em que o computador pode fazer trabalho fundamental. Se o problema for finito, um problema discreto para o qual é possível enumerar várias possibilidades, então um computador será perfeito; pois analisa todas as possibilidades muito mais depressa do que qualquer um de nós. É perfeito para essas situações. Mas também se pode fazer algum trabalho analítico com um computador. Mas usualmente é mais usado para

trabalho numérico, e deve-se entender bem o problema antes de o resolver numericamente. Coloca-se o problema no computador e ele manda cá para fora um número e tem de se entender o que significa esse número. Para mim, um computador é só uma ajuda.

A sua biografia Nobel [2] diz que durante a sua estadia em Cornell com Wilson e com Fisher aprendeu “a importância de testar a teoria com a última autoridade em Física: a experiência”. Como sabe, vários físicos teóricos (em especial físicos de teoria de cordas, cosmólogos, mas também alguns físicos de altas energias) são defensores do princípio de que a “elegância chega” (i.e. se uma teoria é suficientemente elegante e descritiva então não requer teste experimental). Considera (por exemplo como George Ellis e Joe Silk [5]) que a integridade da Física está em risco e deve ser defendida?

Uma teoria como a teoria de cordas não produziu essencialmente nenhuma Física nova. Produziu alguns avanços importantes em Matemática pura e por isso não foi uma perda de tempo. Mas eu não concordo com a ideia de que uma teoria não precisa de ser provada experimentalmente. Uma teoria que carece de prova experimental é o quê? É uma teoria. Nada mais. A forma como eu olho para a Física é a seguinte: vivemos num Universo que faz as suas coisas. Não se importa com a vossa ou a minha Matemática. Faz o que faz. A nossa tarefa é tentar explicar, ou tentar entender porque é que o Universo faz exatamente aquilo que faz. A melhor ferramenta que temos é a Matemática. Um esquema matemático é contido e auto-consistente. E, em princípio, neste esquema, estão contidas todas as respostas. Mas esta estrutura matemática completa tem de ser comparada com o mundo real. Pode ser que funcione, e que concorde com o mundo real. Mas muito provavelmente não funcionará. Penso que esta é a relação entre a Matemática e a Física e o mundo real. Pode ser que seja a estrutura correta para descrever o mundo real, ou pode ser que não seja.



Durante a palestra na Física 2018

Pode falar-nos um pouco sobre os seus atuais interesses de investigação?

O problema que tenho estado a tentar entender é um problema em física de não equilíbrio. Muitos sistemas forçados,

fora do equilíbrio parecem atingir uma espécie de estado estacionário independente do tempo. Estou a estudar um sistema que tem uma parte determinista, e tem um conjunto de estados estacionários. Depois adiciona-se algum ruído ao sistema, um termo aditivo de ruído simples. A pergunta que coloco é a seguinte: será que um estado estacionário único é escolhido em média? É exatamente isto que acontece quando um sistema evolui para o equilíbrio. Sabemos que nesse caso o sistema atinge uma distribuição estacionária única. E essa distribuição estacionária é selecionada pelas flutuações térmicas ou ruído estocástico. Pensei que a mesma coisa talvez pudesse acontecer em sistemas forçados fora do equilíbrio: que o ruído estocástico seja essencial para selecionar um estado estacionário único. Ou pelo menos, uma pequena banda de estados estacionários. Numericamente parece ser o que acontece, pelo menos no caso de alguns sistemas simples. O problema está quando se tenta analisar o sistema matematicamente. Para um sistema perto do equilíbrio escreve-se uma equação de Langevin, e assintoticamente ele atinge a distribuição de Boltzmann. Isto pode demonstrar-se, embora não rigorosamente. Para sistemas fora do equilíbrio, que parecem muito semelhantes, pode fazer-se o mesmo tipo de abordagem matemática, mas de repente descobre-se que tudo se desmorona. É esse o problema que estou a tentar entender.

Num estudo recente, dois professores da Northwestern University [6] observaram que “Investigadores de sucesso e professores de excelência não são nem substitutos nem complementos uns dos outros – na realidade não têm correlação”. A sua experiência está de acordo com esta conclusão? Como avalia a importância do ensino na investigação?

A minha opinião pessoal é que um investigador sabe que 95 % da sua investigação será um falhanço e que talvez 5 % terá sucesso, e por isso é importante progredir. Basicamente, ajuda quando se ensina pois não se pode sempre introduzir a investigação de ponta no ensino. Como não sabemos qual será o resultado da nossa investigação, não poderíamos chegar a qualquer conclusão se ensinássemos esse assunto em particular. Mas é útil, pois isso significa que à medida que estamos a ensinar os tópicos que são bem compreendidos estamos ao mesmo tempo alerta para o facto de que a sabedoria convencional que transmitimos está sujeita a vir a ser contradita pela investigação. Então é útil sempre ter em mente que o que se ensina pode não estar correto.

Muitos alunos de Física acabarão por ingressar equipas interdisciplinares, e a trabalhar em tópicos que poderão estar bem longe das áreas tradicionais da Física. Qual lhe parece a melhor maneira de preparar os seus alunos para esta nova realidade?

Bem, eu não sei como é possível ensinar essa realidade, mas também sempre pensei que as ligações entre a Física e outros campos do saber são tão óbvias, que não precisam de ser ensinadas. Eu tenho essa noção quase desde criança – faz praticamente parte de mim saber que a Física está ligada a todos os tipos de disciplinas e que tem algo a oferecer a outros campos do saber (não a todos). E vice-versa. Talvez isso tenha a ver com a maneira como na escola me ensinaram ciência. Às vezes era Física, outras Química, ou Bioquímica, e esses assuntos não estavam realmente separados. Eram todos ciência. Hoje ainda acho que não deveria haver uma distinção entre Física, Química e por aí adiante. São todas a mesma coisa.

Um artigo recente na Physics Today [7] assinou que apenas 5 % das pessoas que tiram o curso de Física nos EUA ingressam na carreira acadêmica, e que a vasta maioria (65 %) acaba por trabalhar fora da academia. Acha que os currículos dos cursos deveriam ser alterados de forma a desenvolver “soft skills” em linha com competências científicas de modo a preparar profissionais mais bem qualificados para trabalhar fora do meio acadêmico? Ou considera que os programas atuais já são adequados para esse objetivo?

Não consigo responder a essa questão. A Física é uma disciplina tão ampla que não se pode ensinar tudo. É impossível. E, como disse, é apenas um ramo da ciência. Não importa que se chame ao que faz Química, ou Física, ou outra disciplina científica, toda essa atividade é ciência. Usa o mesmo tipo de ferramentas para entender os sistemas, ou para tentar entendê-los. Eu gosto mais do lado mais matemático, mais simples das ciências, enquanto outros preferem as mais complicadas, menos matemáticas, como a Química ou a Bioquímica, ou ainda a Medicina (que é ainda menos matemática). Mas é tudo a mesma coisa. Por isso não entendo as diferenças. Em relação ao ensino, não sou adepto de impor um tipo de ensino em particular, porque como dizia antes, a Física é uma disciplina muito vasta, impossível de ensinar na totalidade. Se se tentar ensinar tudo, o curso sairá demasiado abrangente para chegar a ensinar alguma coisa com um mínimo de profundidade. Medicina por exemplo, é também uma disciplina muito vasta. E é bem-sabido que para ser médico não é necessário saber ciência de uma forma muito profunda. Basta, por exemplo, saber Física suficiente para entender algumas das máquinas que usa. Mas não é necessário saber todos os detalhes de como essas máquinas funcionam. Em Física é o mesmo, os conteúdos são imensos. Os físicos profissionais são especialistas que sabem muito sobre uma coisa e muito pouco sobre tudo o resto. E está bem assim. Muita gente acha que pode ser melhor ensinar os assuntos de

forma menos detalhada, mas fazer isso é difícil, porque o professor foi educado no contexto da visão da disciplina da geração anterior. Para mudar, temos de pensar de forma muito diferente, e isso é difícil.

Vamos imaginar que ia agora entrar na universidade. Ainda escolheria Física?

Provavelmente. Ou talvez não. Talvez escolhesse algo relacionado com computadores ou algo mais matemático. Na verdade, a certa altura da minha formação em Cambridge equacionei a possibilidade de mudar de Física para Matemática. Mas disseram-me que não era boa ideia, que era muito difícil mudar. Acho que teria conseguido lidar com a Matemática, mas teria ficado muito irritado com a mudança de curso. No que diz respeito ao curso de Física, há duas maneiras de o fazer. Uma é escolher um currículo muito alargado e aprender essencialmente nada sobre quase tudo. Outra é especializar e aprofundar mais, mas isso significa que se vai aprender alguma coisa apenas sobre um pequeno conjunto de tópicos da Física, e não se vai aprender nada sobre todas as outras coisas. É uma escolha que tem de ser feita, mas não acho que essa escolha tenha muita importância. Uma pessoa que esteja suficientemente motivada aprende coisas que não lhe são formalmente ensinadas. E essa pessoa será provavelmente mais bem-sucedida.



“Michael Kosterlitz”

Referências

1. J.M. Kosterlitz and D.J. Thouless, J Phys C: Solid State Phys 6, 1181-203 (1973)
2. J. Michael Kosterlitz - Biographical. NobelPrize.org. Nobel Media AB 2018 (<https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2016/kosterlitz/auto-biography>)
3. P.W. Anderson, G. Yuval and D.R. Hammann, Phys Rev B 1, 4464 (1970)
4. J.M. Kosterlitz, Rep. Prog. Phys. 79, 026001 (2016)
5. G. Ellis and J. Silk, Nature 516, 321-323 (2014)
6. <https://www.brookings.edu/research/are-great-teachers-poor-scholars/>
7. L. McNell and P. Heron, Physics Today 70, 11, 38 (2017)

CanSat - Um projeto multidisciplinar numa sociedade tecnológica

Pedro Rodrigues Jorge¹

¹ Colégio Valsassina

Resumo

O projeto CanSat da Agência Espacial Europeia (ESA), que é organizado em Portugal pelo Ciência Viva, é ambicioso e desafia alunos e professores de toda a Europa a desenvolver um microsatélite com o tamanho de uma lata de refrigerante que posteriormente será lançado de uma altitude de 1000 m. Durante a construção os participantes deverão estabelecer os objetivos da missão e integrar na pequena lata de refrigerante (115 milímetros de altura e 66 milímetros de diâmetro) [1], todos os elementos essenciais de um satélite, como sensores, alimentação e sistema de telecomunicação. Esta é uma atividade que estimula a imaginação de muitos alunos e que os lança num projeto espacial enquanto estudantes do ensino secundário

Introdução

No advento da tecnologia computacional de baixo custo e das atividades STEM (Ciência Tecnologia, Engenharia e Matemática), surge o CanSat, onde os alunos podem desenvolver um projeto espacial de pequena escala e aplicar o que é aprendido no currículo nacional do ensino secundário [2], como a construção de um paraquedas e as telecomunicações via rádio, deparando-se, com todos os problemas práticos que surgem durante a sua aplicação. É necessário, por exemplo, contruir um paraquedas com uma velocidade terminal específica. Como fazer isso? Como medir a velocidade terminal? Serão algumas das perguntas que surgirão e a que os alunos terão de dar resposta.

Durante o processo, os alunos têm ainda de procurar e desenvolver competências em diferentes áreas, que não são abordadas, ou são abordadas de forma marginal no programa curricular, mas que desenvolve a interdisciplinaridade como previsto nas Aprendizagens Essenciais[3], nomeadamente a programação em C, utilizada para programar o microcontrolador Arduino, que se encontra na base da componente eletrónica ou o sistema de telecomunicações, que precisa de ter associada uma antena para ampliar o sinal, sendo muitas vezes utilizada uma antena Yagi-Uda.

O trabalho de equipa desempenha um papel muito importante no projeto, uma vez que existem muitas tarefas a desempenhar, desde a telemetria, programação, constru-

ção da antena, do involucro, entre outras. Uma boa coordenação entre todos os membros da equipa é essencial para um bom desempenho.

Os objetivos da missão

Uma missão espacial começa com objetivos claros, o mesmo tem de acontecer numa missão do CanSat que deverá envolver uma escolha sensata de objetivos. Os objetivos da missão primária, a medição da temperatura e da pressão durante a queda, podem ser úteis como introdução às várias componentes da missão. Ao nível da eletrónica poderão ser analisados os instrumentos que realizam as medições e o modo como estes interagem com os restantes componentes e com a programação para se obter os resultados pretendidos, sendo posteriormente necessário analisar em contexto real os dados obtidos, transpondo algum tratamento de dados já abordado no âmbito do programa da disciplina de Física e Química A para o contexto real, onde se podem colocar algumas questões aos alunos. Como varia a altura com o tempo à medida que o pequeno satélite se aproxima da superfície terrestre? Qual é a melhor maneira de determinar a velocidade terminal para se obter o menor erro possível? Um desvio significativo em relação ao valor real poderá levar a que se chegue a conclusões incorretas.

Ao nível da missão secundária, o desafio poderá ser ainda maior, e ajustado a cada equipa, aos seus interesses e às suas capacidades. Desta forma, o projeto pode apresentar uma vertente que estimula a individualidade do ensino e oferece um grande grau de liberdade em relação às escolhas. Os alunos podem optar por um objetivo onde o tema dominante seja tecnológico, emitindo imagens para a ground station, por exemplo. Enfrentado a limitação da transmissão de uma grande quantidade de dados, ou podem optar por uma via diferente, escolhendo uma área como a biologia, como base para a sua missão secundária e observar o comportamento de um ser vivo.” Como qualquer projeto

de investigação, a pesquisa é crucial antes do início da missão de forma a fundamentar o objetivo.

Não é invulgar durante o desenvolvimento existir uma cooperação com um instituto de ensino superior, sendo esta outra faceta positiva, visto que permite uma maior interligação entre estas instituições e as escolas, o que pode garantir um melhor resultado e estimular parcerias futuras.

Investigação e desenvolvimento

O desenvolvimento do projeto tem uma componente prática muito significativa, primeiro, ao nível da construção dos sistemas principais, onde os alunos têm de aprender a soldar, uma competência que geralmente não é trabalhada no âmbito do programa nacional. Após o sistema estar funcional, com todas as medições básicas, terão de ser analisadas as características do microcontrolador para se determinar que sistemas podem ser acrescentados e de que forma se poderá tornar o sistema resistente à turbulência da viagem, do lançamento e, por fim, ao embate com o solo.

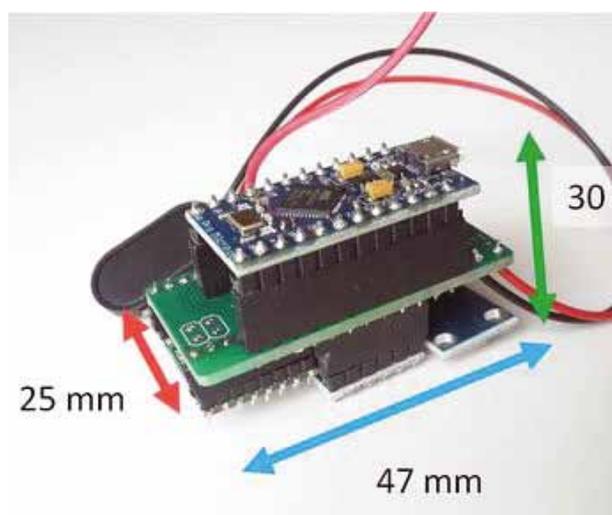


Fig. 1 - Sistema eletrónico base do CanSat [4]

Após se ter estabelecido os objetivos, terão de se utilizar os diferentes sensores e sistemas eletrónicos, testar o seu funcionamento e a viabilidade do projeto, aprendendo no processo a linguagem C, que é muito versátil e que poderá ser de extrema importância em projetos futuros. Este processo por si só é um exemplo de física experimental, uma vez que o aluno terá de resolver problemas práticos relacionados com a eletrónica e com a recolha de dados. Posteriormente terá de tratar os dados recebidos pelos sensores, identificando a incerteza associada, e realizar todo o seu tratamento que permitirá tirar conclusões e atingir os objetivos da missão.

Para a construção do CanSat um número significativo de equipas recorre à modelação 3D, que permite um ajuste personalizado da lata ao sistema no seu interior. Esta técnica permite criar objetos personalizados de elevada resistência com um custo relativamente baixo. Por si só esta técnica pode

ser utilizada em muitos projetos educacionais, criando o involucro no caso deste projeto, mas ainda engrenagens e os mais variados objetos que possibilitam a realização de máquinas que até agora não seriam exequíveis devido à sua especificidade.

As telecomunicações são também um tema forte no CanSat, já que a construção de uma antena direcional, Yagi-Uda, que deverá implicar um estudo da propagação de ondas eletromagnéticas e da forma como o sinal é atenuado e como podemos limitar o efeito da perda de sinal através da construção de uma antena. A própria construção é muitas vezes realizada pelas próprias equipas, o que por si só não é um processo trivial, uma vez que tem de ser sintonizada para uma frequência de 433 MHz e uma má construção poderá significar a não receção de dados durante a missão. No entanto, é algo que se encontra ao alcance de cada aluno do ensino secundário, utilizando materiais de uso comum.

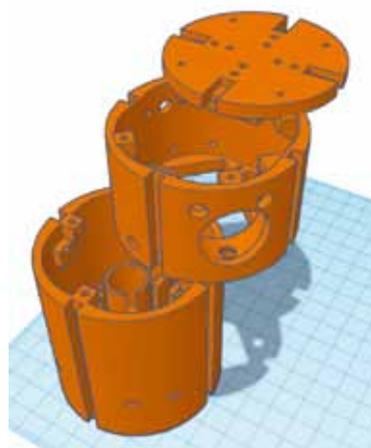


Fig. 2 - CanSat da equipa Satfree do Colégio Valsassina

Para a construção do paraquedas, é necessário um estudo mais aprofundado e, para muitos alunos, mais estimulante do que o abordado no 11.º ano, onde se pode calcular a velocidade terminal com um elevado grau de precisão, pode-se escolher o tipo de paraquedas a utilizar, considerando as vantagens e as desvantagens de cada modelo. As características podem permitir um controlo direcional do voo, ou em modelos mais simples uma fácil construção e em algumas situações surgem efeitos com uma velocidade angular que gera uma aceleração centrípeta, intercetando o movimento do paraquedista com o movimento circular, que os alunos a partir do 11.º ano já têm algum grau de competência para tratar.

O lançamento

Nas últimas duas edições do CanSat Portugal, a final que envolve o lançamento decorreu na ilha de Santa Maria nos Açores, com o apoio da Edisoft, que gere a estação de rastreio da ESA que permite seguir os lançamentos realizados por esta agência espacial. A passagem pela ilha e pela Edisoft é memorável e uma experiência única para alunos e professores que descobrem alguns detalhes sobre as missões desenhadas e executadas pela ESA.

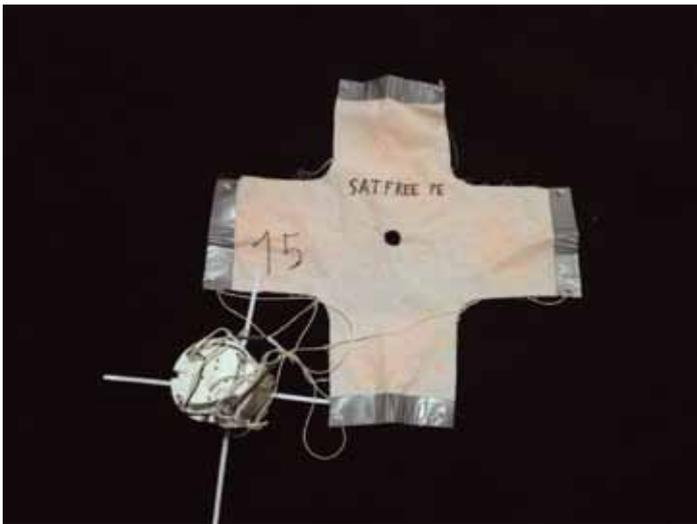


Fig. 3 - Paraquedas em cruz da equipa SatFree do Colégio Valsassina.

Durante a final todas as missões são analisadas com detalhe, analisando o rigor do projeto nas suas diversas valências. Existem nesta fase dois lançamentos, um de teste e o lançamento final. Estes lançamentos são normalmente realizados a 1000 metros de altitude por um monomotor.



Fig. 4 - Antena na estação de rastreamento da ESA em Santa Maria, Açores



Fig. 5 - Módulo de lançamento dos microssatélites

Durante a queda é com grande satisfação que os alunos têm o prazer de recolher os dados em tempo real, o que é por si só uma vitória, se considerarmos os obstáculos que é necessário ultrapassar e as condições duras a que todo o sistema é submetido.

A fase seguinte envolve o tratamento de dados, onde se verificam (ou não) os propostos nas missões primária e secundária. Segue-se a apresentação das conclusões perante o júri e todas as equipas.

A nível pedagógico o projeto tem um grande potencial de aprendizagem devido às várias valências científicas e especialmente tecnológicas que envolve e as competências sociais necessárias para o seu desenvolvimento.

Deve ainda ser valorizada a qualidade dos projetos portugueses que, por diversas vezes, foram galardoados com o 1º prémio europeu.

A equipa do Colégio Valsassina no ano de 2018 ficou em 2º lugar na competição nacional.

Referências

- [1] Regulamento Cansat Portugal, ESERO Portugal, 2017
- [2] Programa de Física e Química A, 10.º e 11.º Ano, Carlos Fiolhais e Isabel Damião (coordenadores), MEC, 2014.
- [3] Aprendizagens Essenciais – Secundário, Física e Química A 10.º ano e 11.º ano de escolaridade, MEC, 2018.
- [4] http://doc.open-cosmos.com/Qbcan_modular (última consulta: 16 de novembro de 2018)



Pedro Rodrigues Jorge Licenciado em Física e Química pela Universidade do Algarve. Professor no Colégio Valsassina. Tesoureiro da Sociedade Portuguesa de Física. Participante das edições de 2017 e 2018 do CanSat Portugal e orientador dos projetos de Física

Experimental nas disciplinas do ensino secundário de Física e Química A e Física do 12.º ano.

O Método de Pfund na determinação de índices de refração em lâminas transparentes: Uma aplicação em sala de aula

Talitha Trovão Vaz¹, Marcos Binderly Gaspar¹

¹ Instituto de Física - Universidade Federal do Rio de Janeiro
talitha.trova@gmail.com, mgaspar@if.ufrj.br

Resumo

Este artigo tem como objetivo principal divulgar e auxiliar, tanto alunos quanto profissionais, procedimentos experimentais para determinação de índices de refração de maneira prática e rápida, através do Método de Pfund (descrito no texto), uma alternativa experimental que usa uma camada de espessura milimétrica de material transparente com superfície inferior refletora.

Introdução

A formação da imagem, ilustrada na figura 1, dá-se por meio de um feixe estreito de luz, como um laser, incidente numa lâmina transparente, com espessura da ordem de milímetros a centímetros. Como o objetivo é usar materiais de fácil acesso em sala de aula, o professor usa a lâmina mais acessível. No caso de líquidos pode ser útil fazer medições variando a profundidade do líquido. Tal experiência permite uma fácil determinação do índice de refração do material constituinte usando a determinação do ângulo limite para a reflexão do feixe vindo de um meio mais refringente para outro menos refringente (no caso, o ar). Este procedimento, conhecido como método de Pfund [1], mostra-se adequado para o tratamento da questão ao nível do ensino médio. Neste trabalho desenvolveremos o procedimento experimental de maneira intuitiva para aplicação em sala de aula. A demonstração da Lei de Snell sem a aplicação direta de medições de ângulos pode-se mostrar mais atrativa para o primeiro contacto com a disciplina.

A formação da imagem

Um feixe de luz colimado, como um laser, apontado para uma lâmina transparente forma uma imagem circular com a superfície da lâmina, como na figura 2.

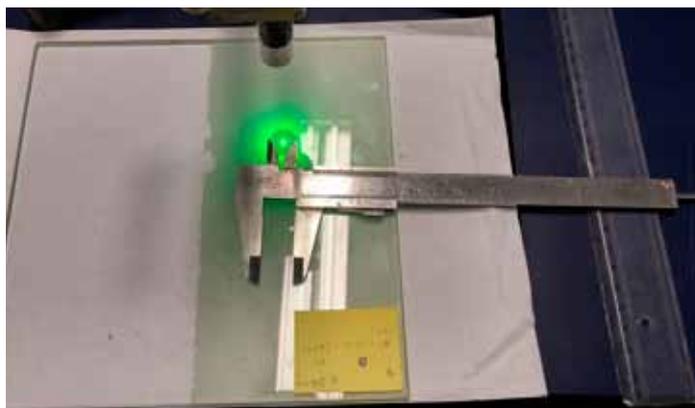


Fig. 1 - Montagem para registro da imagem formada na lâmina de vidro.

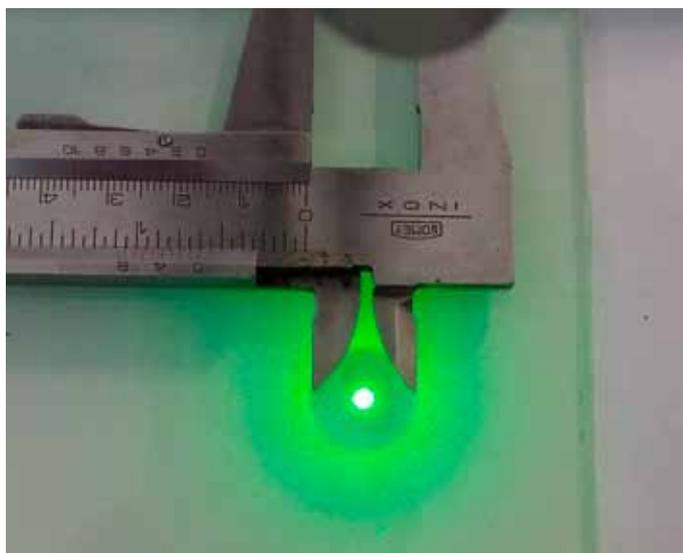


Fig. 2 - Visão ampliada da imagem formada por um feixe de laser verde sobre lâmina de vidro. Destaque para o disco menos iluminado delimitado pelas pontas do paquímetro.

A explicação usual para esta diferença de iluminação usa o conceito de ângulo limite e é a base do método de Pfund [2,3] para a determinação de índices de refração. Nesta interpretação, a área interior do disco (ver figura 2 acima) não recebe raios que foram refletidos na superfície interna superior da lâmina (raios transmitidos do meio mais refringente para o ar), e a área exterior ao disco escuro fica iluminada por raios do feixe difundido que fazem um ângulo com a normal igual ou maior que o ângulo limite, de acordo com o material utilizado (figuras 2, 3 e 4). Podemos afirmar que a percentagem da luz que permeia a lâmina e retorna para o ar (raios da região 2 na figura 4) não é relevante nesta interpretação, considerando apenas o que foi refletido em ângulos iguais ou maiores que o ângulo limite (raios da região 3 na figura 4). A pintura na superfície inferior da lâmina garante que os efeitos de reflexão e refração ocorrerão no meio mais refringente – no caso de meios sólidos ou devido ao próprio recipiente do meio líquido a ser usado.

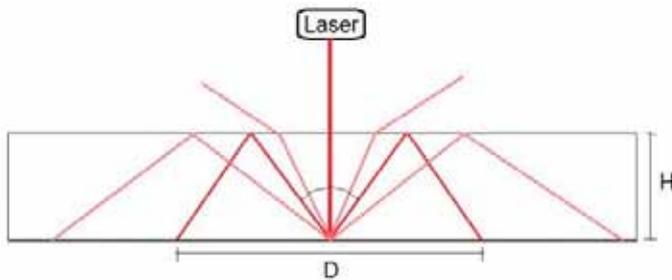


Fig. 3 - Representação lateral do comportamento dos raios de luz em uma lâmina

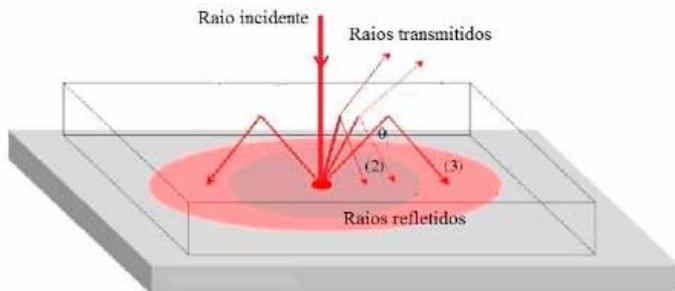


Fig. 4 - Representação em 3D da formação do disco escuro em uma lâmina transparente.

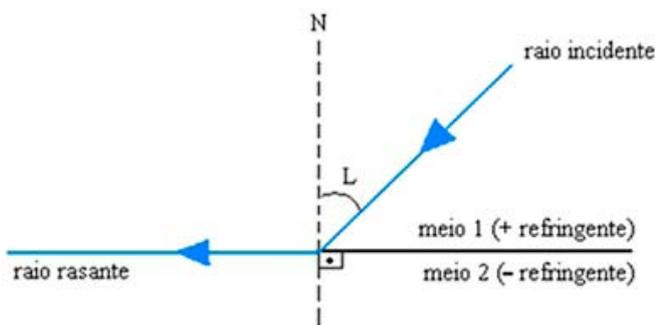


Fig. 5 - Ilustração do ângulo limite (L) entre dois meios transparentes. (© Domiciano Correa Marques da Silva).

Admitindo que a difusão se dê igualmente em todas as direções, obtemos uma imagem circular de diâmetro D , representada pela região mais escura da imagem. Usando o conceito de ângulo limite ilustrado na figura 5, ou seja, o ângulo de incidência θ_i , que resulta no ângulo de refração de 90° (a figura 6 representa o triângulo retângulo o qual resulta na equação de índice de refração). Assim devemos ter:

$$\text{sen}\theta_i / \text{sen}\theta_r = 1/n \quad (1)$$

Denominando D o diâmetro do disco mais escuro e H a espessura da lâmina, temos:

$$\text{sen}\theta_i = 1/n = \frac{D/4}{\sqrt{(D/4)^2 + H^2}} \quad (2)$$

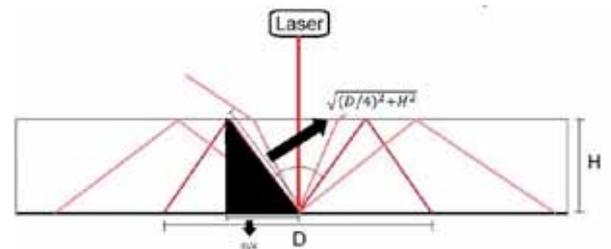


Fig. 6 - Triângulo retângulo usado para a determinação da equação final do Método de Pfund

Reescrevendo, temos:

$$n = \sqrt{1 + \left(\frac{4H}{D}\right)^2} \quad (3)$$

Materiais e métodos

O aparato experimental consiste numa lâmina de material transparente, podendo ser sólido ou líquido. Neste estudo utilizamos vidro e acrílico, mas também recomendamos água (filtrada e à temperatura ambiente) e glicerina (à temperatura ambiente) devido à facilidade de acesso. A lâmina sólida precisa ser pintada com uma tinta branca em sua face inferior (de preferência spray), para que a imagem seja formada no interior da lâmina. Já nas lâminas líquidas, basta que o recipiente seja liso e branco. Para a extração de medidas nas lâminas de material sólido, usamos um paquímetro com incerteza de $\pm 0,005$ cm.

A fonte de luz deve ser um laser, devido à elevada colimação do feixe produzido. O efeito de *speckle* (difusão da luz) produzido no centro da imagem circular deve ser desconsiderado, já que o registo de dados se restringe ao limite entre a primeira região menos iluminada (disco escuro) e a segunda região mais iluminada na lâmina em estudo. Durante o registo de dados, usamos um ponteiro laser nas regiões de cor vermelha (650 ± 10) nm e verde (530 ± 10) nm do espectro.

Para que o cálculo do índice de refração seja obtido de forma simples, tivemos o auxílio de um telemóvel com a plataforma Android com um aplicativo

de folha de cálculo como p. ex. o “Microsoft Excel” instalado. O procedimento usado é explicitado no Apêndice 1.

Resultados obtidos

De acordo com a literatura vigente [4,5], obtemos índices de refração em conformidade até à segunda casa decimal, mostrados na tabela 1 e 2. Observe que é possível verificar a dependência entre o índice de refração do meio e o comprimento de onda do laser incidente no mesmo.

Cor	λ(± 10nm)	Meio	n(± 0,005 cm)	D(± 0,005cm)	n Pfund	± cm	n referência
Vermelho	650	Vidro	0,500	1,520	1,653	0,020	1,660
		Acrílico	0,800	2,000	1,535	0,019	1,488
			1,000	3,380	1,549	0,012	
Verde	532	Vidro	0,500	1,540	1,630	0,028	1,660
		Acrílico	0,800	2,070	1,531	0,019	1,497
			1,000	3,370	1,552	0,012	

Tabela 1 - Resultados obtidos com a aplicação do Método de Pfund em meios sólidos (vidro e acrílico).

Água				
Cor	D(± 0,01cm)	n Pfund	± cm	n referência
Vermelho	9,00	1,34	0,01	1,33
Verde	9,00	1,34	0,01	

Tabela 2 - Resultados obtidos com a aplicação do Método de Pfund em água com 2,00 cm de profundidade e medido com régua com incerteza de 0,01cm.

Conclusões e Trabalhos futuros

Observamos que o Método de Pfund para a determinação de índices de refração é capaz de nos retornar resultados com precisão na segunda casa decimal, mesmo com as incertezas instrumentais e erros de leitura incluídos no resultado final. Acreditamos que tal precisão pode ser refinada se levarmos em consideração instrumentos mais precisos, como um paquímetro. Além disso, a grande dependência da espessura da lâmina no cálculo de incerteza indica-nos que a incerteza relativa para lâminas mais espessas será menor, em comparação com as mais finas, conforme resultados para o acrílico, indicados na tabela 1.

Além disso, este artigo visa ilustrar que o ensino de óptica geométrica possui experiências de baixa complexidade de montagem e pouco conhecidas. Sendo assim, o método de Pfund abre uma possibilidade para que o educador possa aplicar uma experiência de forma simples, objetiva e com baixo custo.

Apêndice 1

No aplicativo de folha de cálculo, escolhemos duas células, uma ao lado da outra, para que sirvam de inserção de dados, ou seja, a espessura H da lâmina e o diâmetro D do disco escuro. Imediatamente ao lado

destas duas células, inserimos a fórmula referente ao cálculo do índice de refração, conforme exemplo na figura 7.

Levando em consideração a propagação de erros, também é possível calcular a incerteza associada à medida da seguinte forma: $=E4*RAIZ(2*(0,1/C4)^2+(0,1/D4)^2)$

Referências

1. T.Schneider, “Pfund’s Method For Finding Index of Refraction of Amorphous Candy” (http://www.lehigh.edu/imi/scied/docs_students/PfundMethod.pdf)
2. H. F. Perry, “Using Pfund’s Method to find the Index of Refraction” (<http://www.compadre.org/advlabs/tcal/files/PerryH9.pdf>)
3. T. T. Vaz, “Pfund e a determinação de índices de refração: uma nota histórica” (http://www.15nhct.sbhc.org.br/resources/anais/12/1472929635_ARQUIVO_15NHCTTalithaTrovao.pdf)
4. S. N. Kasarova et al. “Analysis of the dispersion of optical plastic materials” *Optical Materials* 29, 1481. (2007)
5. refractiveindex.info



Marcos Bindery Gaspar Possui graduação em Bacharelado em Física pela Universidade Federal da Bahia (1967) e mestrado em Física pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (1979). Atualmente é professor adjunto da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Tem interesse em Física experimental para a educação e divulgação científica e ensino de Física para deficientes visuais.



Talitha Trovão Vaz Possui graduação em Bacharelado em Ciências Matemáticas e da Terra pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Tem interesse em experimentação e sensores de fibras óticas e divulgação científica.

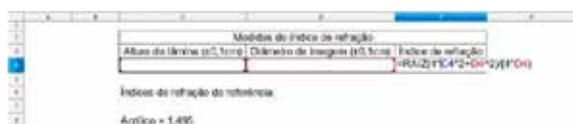


Fig. 7 - Exemplo de montagem da fórmula do Método de Pfund numa folha de cálculo.

O avanço excepcional, a rotina e o retrocesso

Carlos Herdeiro

Sem grande alarido mediático, a colaboração LIGO (Laser Interferometer Gravitational-wave Observatory), juntamente com a sua congénere europeia, Virgo, anunciou no início de Dezembro de 2018 mais quatro deteções de ondas gravitacionais, originadas por colisões de buracos negros. Estes eventos foram detetados durante a segunda janela de observações, que decorreu de 30 de novembro de 2016 a 25 de agosto de 2017. Desde então os detetores têm estado a sofrer melhorias técnicas para aumentar a sua sensibilidade, devendo a terceira janela de observação começar no início de 2019.

Com estes quatro novos eventos, sobe para onze o número total de deteções, num total de cerca de 12 meses de recolha de dados. Este período engloba as duas janelas observacionais já concluídas, sendo que nem sempre os detetores estiveram totalmente operacionais. De facto, a colaboração estima uma deteção por cada 15 dias de dados analisados até ao momento. Ou seja, aquilo que em setembro 2015, quando foi feita a primeira deteção, foi um avanço excepcional (“breakthrough”) tornou-se rotina três anos depois. E apenas o facto de os detetores estarem frequentemente desligados impede que o número de eventos observados seja ainda maior.

É compreensível, claro, que não havendo fatores qualitativamente originais nestas novas deteções, elas não tenham o mesmo impacto mediático que os primeiros eventos, ainda que estes revelem aspetos interessantes. Como ilustração, um dos novos eventos agora anunciados, o GW170729, corresponde ao exemplo em que os buracos negros envolvidos são os mais massivos de entre todos os observados: uma colisão de dois buracos negros com cerca de 50 e 35 massas solares, originando um buraco negro final com cerca de 80 massas solares. Em qualquer dos casos, estas novas deteções eliminam qualquer tipo de dúvidas (para quem ainda as tivesse) sobre a nossa entrada definitiva na era das ondas gravitacionais, e mostram que o comité Nobel não se precipitou ao atribuir o prémio Nobel da física em 2017 à sua descoberta.

Não deixa de ser curioso refletir sobre a facilidade com que nos habituamos a considerar normais os resultados de uma experiência tão extraordinária. De facto, é curioso refletir sobre como, na cultura científica, é fácil tomar como garantido algo que nada tem de garantido, e apenas o é enquanto um esforço real e direcionado existir.

Acabei de participar numa escola sobre gravitação no norte do Brasil, na cidade de Belém do Pará, na região da Amazônia, onde lecionei um curso sobre buracos negros. É uma região que já visitei uma mão cheia de vezes ao abrigo de uma colaboração, iniciada em 2011, com o grupo de gravitação da Universidade Federal do Pará. Apesar da extraordinária riqueza e beleza natural, é uma região onde existe muita pobreza e desigualdade social. A possibilidade de estudar, e em particular tirar cursos superiores, permitiu durante as últimas duas décadas, com os apoios sociais que foram criados,

retirar muitas pessoas dessa pobreza. Jovens com muita vontade, mas com origem humilde, conseguem estudar apenas devido às bolsas de estudo que têm sido oferecidas pelos governos estadual e federal. Alguns destes excelentes alunos tornaram-se até Professores Universitários, por exemplo na própria Universidade Federal do Pará, algo que teria sido impossível sem esses apoios.

E nesta realidade onde ainda há muito a fazer é ainda mais transparente a diferença que um pequeno grupo de pessoas pode fazer. Alguns colegas, imbuídos num claro espírito de missão, construíram um programa de pós-graduação em física e, em particular na área científica da gravitação, que originou um grupo de relevo no Brasil, com visibilidade internacional e com uma dinâmica invejável. Na sessão de encerramento, o coordenador desse grupo fez questão de lembrar a todos, e em particular aos jovens, que alguns anos antes nada havia em pós graduação em física em toda a região da Amazônia, que representa quase metade da área do Brasil.

Lá como cá, e em todo lado, é realmente importante recordar, principalmente aos mais jovens, as dificuldades e os desafios que apenas têm sido vencidos com dedicação e seriedade para caminhar no sentido de uma sociedade com cultura científica, quer na investigação (por exemplo, para conceber e executar uma experiência incrivelmente difícil e que dará apenas resultados passadas décadas do seu início), quer na formação. É fácil esquecer que o obscurantismo espreita todas as oportunidades. Numa época em que a (pseudo-)informação está ao alcance de um clique, em que ao abrigo de uma deturpação do que significa “democracia” se alega que opiniões e factos têm a mesma validade, e em que a superficialidade é a moeda corrente, é importante recordar que “tudo que é preciso para o triunfo do mal é que os bons homens nada façam”.



Foto dos participantes na V Amazonian Workshop on Black Holes and Analogue Models of Gravity, no Campus da Universidade Federal do Pará, junto ao edifício da pós graduação em Física, em Belém do Pará, Brazil, 3-7 Dezembro 2018

Consegues fazer um floco de neve de papel?

Constança Providência

Material

- Folhas de papel branco A4
- Tesoura
- Transferidor

O inverno é tempo de neve em muitos locais de Portugal. E mesmo não vivendo em locais onde neva gostamos de viajar para a ir ver. O que forma o manto de neve que deixa toda a paisagem branca? Pequenos cristais com as formas mais variadas! A fotografia na figura 1 mostra vários cristais de neve entre os caules de duas plantas.



Fig. 1 - Cristais de neve (fotografia de Thomas Bresson)

Em finais do século XIX, início do século XX, o agricultor Wilson Bentley, maravilhado pela beleza dos flocos de neve, dedicou-se a observá-los e fotografá-los, adaptando um microscópio à câmara fotográfica. Foi pioneiro na fotografia de cristais de neve. Em 1884 conseguiu obter a sua primeira fotografia de um cristal de neve. Na figura 2 podes admirar algumas das fotografias que nos deixou.



Fig. 2 - Microfotografias tiradas por Wilson Bentley nos finais do século XIX

Perceber porque que é que os flocos de neve aparecem em formas diferentes e o que é que define a sua forma tem sido um assunto que vários físicos têm estudado. Sabe-se que as diferentes formas estão associadas a temperaturas diferentes e a

diferentes graus de humidade do ar. Se vives num local com neve podes ir passear e descobrir que formas os cristais de neve podem ter com a ajuda.

Se olhares para os cristais de neve da figura 2 identificas facilmente uma característica comum a todos: têm seis pontas ou seis lados muito semelhantes. Dizemos que têm simetria hexagonal, a simetria de um hexágono. O que significa dizer que um objeto tem simetria hexagonal?

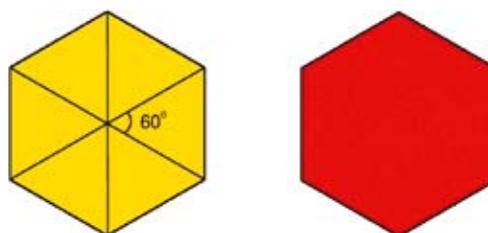


Fig. 3 - Hexágonos equiláteros

Corta um hexágono com os lados todos iguais como o da figura 3. O hexágono amarelo foi obtido justapondo seis triângulos equiláteros, seis triângulos com os lados todos iguais. Os lados de qualquer um destes triângulos fazem entre si um ângulo de 60° . Roda o hexágono de um ângulo de 60° . Podes usar um transferidor para medir o ângulo. Consegues distinguir a nova orientação do hexágono daquela que tinha inicialmente? Não, na verdade, são iguais! Dizemos que um objeto tem simetria hexagonal quando a sua forma não varia se a rodarmos dum ângulo de 60° ou um múltiplo de 60° .

Observa agora as fotografias dos flocos de neve tiradas por Wilson Bentley. Terão simetria hexagonal?



Fig. 4 - Modelo de uma molécula de água

E porque é que a simetria de um floco é hexagonal? As propriedades da água são determinadas pelas partículas que a formam, as moléculas de água. A figura 4 mostra o modelo de uma molécula formada por dois átomos de hidrogénio, as bolas vermelhas mais pequenas, e um átomo de oxigénio, a bola amarela maior. Os átomos de hidrogénio estão ligados ao oxigénio formando um ângulo de $104,5^\circ$ entre eles. Se quiseres fazer um modelo consulta a Gazeta 34, vol 3 & 4. Cada molécula de água liga-se a outras três formando estruturas com simetria hexagonal.

Tirar fotografias como as de Wilson Bentley é difícil e requer equipamento especial. Um desafio é criar modelos de flocos de neve em papel. Vamos ver como:

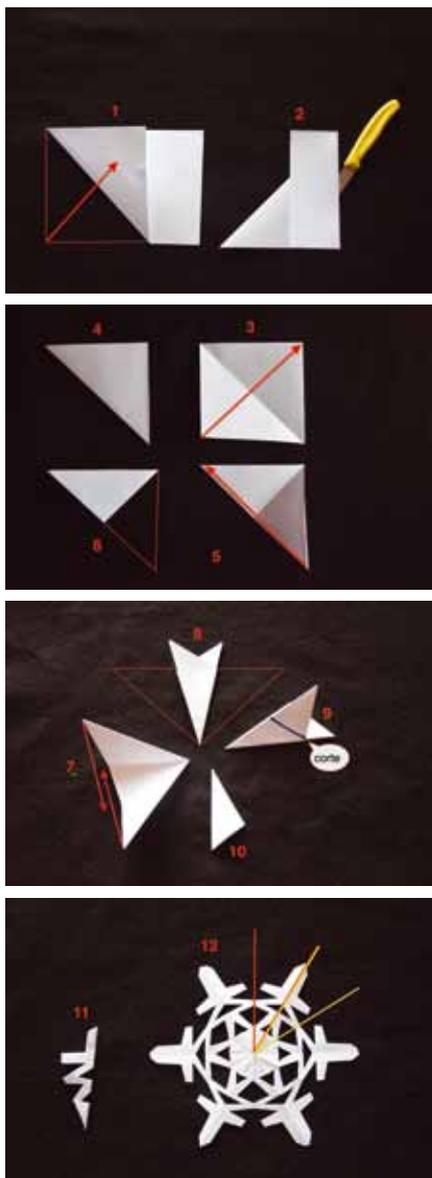


Fig. 5 - Instruções para obter um floco de neve em papel

Seque as instruções da figura 5: corta um quadrado de uma folha A5, (1) e (2), dobra o quadrado ao meio pela diagonal (4) e volta a dobrar ao meio (5). Obtiveste um triângulo (6) que vais dobrar em três partes iguais conforme as indicações dos passos (7) e (8). Corta a parte superior da figura que obtiveste conforme indicado em (9). No final ficaste com um triângu-

lo (10), no qual vais fazer vários recortes (11). Os recortes feitos em (11) deram origem ao floco (12). As linhas vermelhas identificam o triângulo (11). Esta forma e a sua imagem no espelho, marcada a amarelo, vão-se repetir seis vezes. Tens de ter cuidado de modo que os teus cortes não vão de um lado ao outro do triângulo (10) para não o separares em duas partes. Agora é só teres imaginação e cortares flocos de neve tão variados como aqueles que a natureza faz. Podes ver alguns exemplos na figura 6

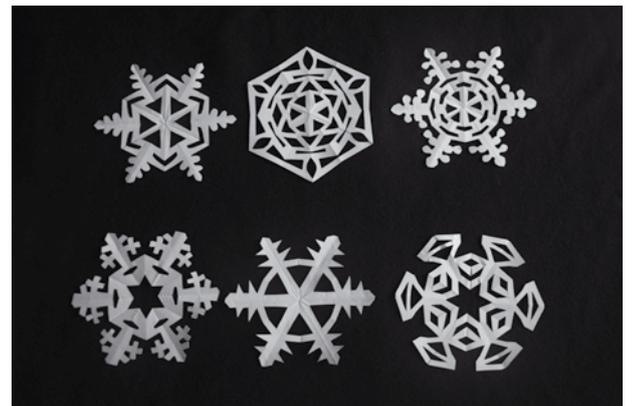


Fig. 6 - Flocos em papel

Depois de já te teres treinado a cortar flocos de neve deixo-te um desafio mais difícil: corta flocos de papel que sejam semelhantes a verdadeiros flocos de neve! Consegues cortar flocos que se assemelhem aos de Wilson Bentley na figura 2 ou aos lindos cristais fotografados por Kenneth G. Libbrecht, um físico que se tem dedicado a descobrir os segredos dos cristais de neve, da figura 7



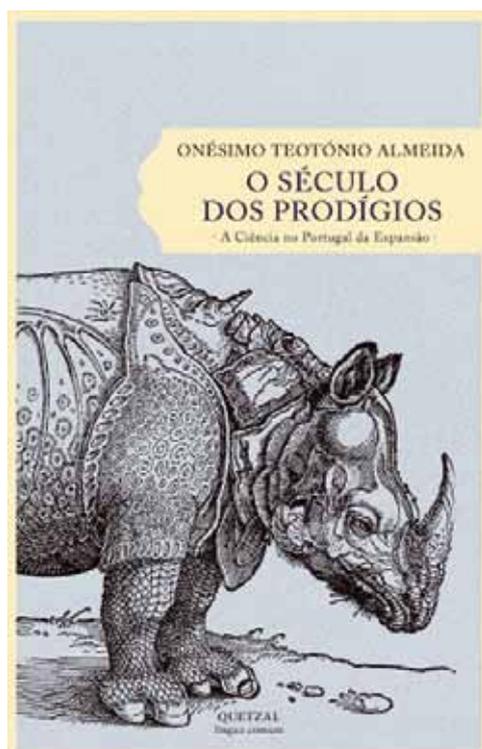
Fig. 7 - Fotografias de cristais de neve de Kenneth G. Libbrecht (ver em <http://www.snowcrystals.com/>)

Bibliografia

1. <https://www.instructables.com/id/How-to-Make-6-Pointed-Paper-Snowflakes/>
2. Wilson Bentley <http://www.snowflakebentley.com/i>
3. Kenneth G. Libbrecht, <http://www.snowcrystals.com/>
4. <http://www.its.caltech.edu/~atomic/snowcrystals/project/project.htm>
5. Vamos experimentar, Constança Providência, Gazeta 34, 3&4, pg 37

Livro

José Braga Costa



«O Século dos Prodígios- A Ciência no Portugal da Expansão» por Onésimo Teotónio de Almeida, Quetzal, 387 pp. ISBN 978-989-722-536-9

Onésimo Teotónio de Almeida é um nome maior da cultura portuguesa contemporânea. É professor catedrático da Universidade de Brown (Rhode Island), no Centro de Estudos Portugueses e Brasileiros que ajudou a criar. A sua obra contempla várias áreas da cultura nacional, estando a ser publicados pela Quetzal, de forma sistemática, conjuntos dos seus artigos. «Despenteando Parágrafos» (2015) cobre a sua visão sobre a realidade cultural portuguesa, tendo-se seguido «A Obsessão da Portugalidade» (2017), sobre a identidade nacional.

Este «O Século dos Prodígios- A Ciência no Portugal da Expansão» (2018) interessa em particular aos historiadores da Ciência pois reúne textos onde o autor se debruça sobre as características de um núcleo de pensadores e criadores que desenvolveram no nosso país uma mentalidade científica a partir da observação da Natureza decorrente dos Descobrimentos portugueses.

Além da Introdução, da bibliografia e dos muito úteis índices onomástico e analítico, que tornam mais fácil e rápida a consulta da obra; o livro conta três partes, «Uma crítica retrospectiva para portugueses», «Uma re-visitação serena para portugueses e não portugueses» (com nove capítulos), que constitui o corpo da obra, «Da vanguarda à retaguarda: uma reflexão para portugueses» e três apêndices. Dificultando a sua consulta, as notas são apresentadas no final de cada parte ou capítulo.

O autor apresenta um conjunto de «contributos parcelares» para a tomada de consciência do papel dos portugueses na criação da modernidade científica através da observação e conhecimento da natureza durante o período da Expansão. Este contributo evita as armadilhas do nacionalismo, mas procura combater o desprezo que lhe tem sido votado por parte da historiografia estrangeira, em particular a anglo-saxónica.

Para Onésimo Teotónio de Almeida a modernidade científica portuguesa terá feito sentir-se através de debates intelectuais sobre o que sucederia aos navios

abaixo do equador, as características da vegetação a sul do Sara, a existência de povos que andavam em pé como os europeus, destruindo as fantasias da Antiguidade, e sobre a extensão do continente africano. Lembra igualmente que as viagens terão sido preparadas com cuidado e que as notícias trazidas delas contradiziam os escritos dos clássicos.

Na primeira parte do livro, o autor desmonta e critica os argumentos que o historiador Joaquim Barradas de Carvalho (1920-1960) apresentou em diversas publicações para defender que os portugueses realizaram uma «pré- revolução científica». Almeida salienta o facto de Carvalho não estabelecer comparações entre o caso português e o resto da Europa e da oposição entre humanismo e Ciência que defende não ter sustentação histórica. Considera os trabalhos do historiador demasiado nacionalistas.

Assim, em «Século dos Prodígios», sustenta-se que o mérito dos portugueses da Expansão passa por terem experienciado novas realidades e terem-nas dado a conhecer. O seu contributo para a Ciência dá-se por existir um novo nível de observação, mas que (com exceção da Astronomia, Cartografia e Geografia) não passa da descrição; isto, porque os dados descobertos não resultam de experimentos sistemáticos mas do avanço gradual nos oceanos, buscando-se soluções para dificuldades que iam surgindo. Também não se elaboram construções teóricas e raramente se estabelecem leis naturais pois os dados empíricos não eram sistematicamente classificados e sistematizados.

Nos dois primeiros capítulos da segunda parte da obra, dão-se exemplos de como a revolução científica do século XVII recebeu dos portugueses um impulso prévio de um núcleo de pessoas que se voltou para a compreensão da natureza à medida que se dava a Expansão. A inovação dá-se ao nível da rejeição da autoridade dos antigos per se, da aceitação da experiência como critério de verdade, do desenvolvimento de uma perspetiva científica, da existência de trocas entre a teoria e prática de eruditos, artesãos e marinheiros e da consciência generalizada da importância dos novos conhecimentos para a abertura de novas perspetivas. Existia então já um pequeno núcleo de indivíduos com uma mentalidade científica moderna, mas que não rejeitara totalmente o paradigma clássico. Estas características estão patentes nas obras de Duarte Pacheco Pereira, Esmeraldo de Situ Orbis (escrito de 1505 a 1508); de Pedro Nunes, Tratado em Defesa da Carta de Marear (1537); de D. João de Castro, Roteiros (1538-41); de Garcia de Orta, Colóquio dos Simples... (1563) e na Ars Nautica de Fernando Oliveira (1570).

O professor da Universidade de Brown demonstra-o, ao mesmo tempo que critica os historiadores da ciência que têm ignorado estes portugueses e elogia o trabalho dos historiadores da ciência que, tendo acesso à bibliografia nacional, lhes reconhecem a importância, a começar pelo próprio George Sarton (1884-1956).

Em “«Experiência a madre das cousas» — insistindo na busca da origem da expressão” o autor vai defender que Duarte Pacheco Pereira tem consciência de estar a relatar feitos que contradizem a autoridade dos Antigos, revelando uma mentalidade empirista e procurando teorizar atividades e descobertas realizadas. Surge assim a ideia da experiência como fonte segura de conhecimento, critério último de verdade nas questões de saberes materiais, que se difundirá entre os portugueses do século XVI.

No capítulo seguinte, que versa «A difusão da ideia de experiência», demonstra-se como o processo de descoberta do caminho marítimo para a Índia, contornando o continente africano, coincidiu com uma mudança intelectual dirigida para a experiência e experimentação.

«O moderno D. João de Castro» parte do trabalho do historiador Reijer Hooykaas (1906-1994) para destacar como Pedro Nunes e D. João de Castro foram pioneiros de uma atitude científica caracterizada pela observação atenta do real, preocupação com o rigor das medições e recolha de dados, a experimentação e a noção da imensidão do desconhecido. Apesar de se enquadrarem ainda na cosmovisão medieval, anteviam já os métodos da Ciência moderna. Pedro Nunes, publicando uma obra em latim, pretenderia mesmo atingir o público desconhecedor da língua portuguesa, testemunhando uma atitude moderna.

«Camões e a sua notável modernidade» ilustra, usando estrofes do Canto V d’Os Lusíadas, o pensamento moderno de um determinado grupo de portugueses dos séculos XV e XVI, na medida em que o poeta usa os conhecimentos que adquirira por experiência na deslocação que efetuou à Índia para relatar a viagem de Vasco da Gama ao rei de Melinde. Camões coloca a tónica na própria experiência comparando com o défice dos Antigos (estrofe 86): aceita indiscutivelmente a ideia de que o conhecimento começa com a experiência.

«Francisco Sanches [1550-1622] — um elo perdido entre Descobrimientos e modernidade» sublinha como este filósofo chegou à noção da fragilidade do conhecimento humano, da necessidade de este ser fundado na experiência e juízo crítico, mas de tal não ser suficiente para fornecer certezas absolutas. Será assim, a consequência filosófica do processo dos Descobrimientos a ficar estabelecida.

O penúltimo capítulo da segunda parte da obra debruça-se sobre «De Zurara a Francis Bacon — conhecimento e poder, ciência e tecnologia». No caso português ocorria uma ligação clara entre estes fenómenos, dado que quanto melhores fossem as observações mais vidas

seriam poupadas nas viagens e registrando os problemas dos instrumentos estes seriam aperfeiçoados, o que melhoraria a recolha de dados. O desejo de conhecimento tem por trás uma preocupação utilitária com diversas facetas. O último capítulo da segunda parte, «Vasco da Gama e os supostos cristãos da Índia» deixa patente como foi a necessidade de atingir objetivos que levou à abertura às realidades empíricas.

Finalmente, a terceira parte do livro corresponde a reflexões sobre a fragilidade da tradição científica na península Ibérica a partir de um trabalho de José Santana Dionísio (1902-1991). Os Apêndices da publicação correspondem a uma reflexão sobre «Plutarco e as ilhas Satanas do mapa de 1424», uma «Conversa sobre Luís de Albuquerque», que permite conhecer melhor a personalidade deste matemático e historiador da ciência português, e o resumo do programa de um seminário que o autor leciona.

Se existe um ponto fraco nesta coletânea, talvez se resuma ao inexistente aparelho iconográfico do livro. Ilustrações ou mapas valorizariam a publicação. Obra que reúne artigos escritos e publicados com finalidades e em contextos diferentes, peca, naturalmente, por alguma repetição de ideias. De resto, este trabalho traz inúmeras pistas valiosas para investigações sobre a Ciência no período dos Descobrimentos e alerta para o muito que ainda há a fazer para divulgar os trabalhos de carácter científico portugueses existentes neste período: estudo crítico de fontes, traduções, divulgação de trabalhos sobre eles. Também demonstra o quanto o historiador da ciência pode recolher de escritos não encarados como totalmente científicos, como relatos de viagens e mesmo poesia.

Procurando analisar o contributo da Ciência portuguesa no período dos Descobrimentos para a Revolução Científica, fá-lo sem cair nas armadilhas do nacionalismo, tornando facilmente acessível ao leitor português exemplos da qualidade da História da Ciência portuguesa.

Actualidade

Cerimónia dos 50 anos da Sociedade Europeia de Física

Foi realizada no dia 28 de setembro de 2018, na Universidade de Genebra, na Suíça, a cerimónia oficial de comemoração do 50º aniversário da Sociedade Europeia de Física. A cerimónia foi constituída por um conjunto de palestras sobre a história da Sociedade Europeia de Física e o seu impacto, bem como sobre a sua integração e ação no mundo atual. O evento, onde a Sociedade Portuguesa de Física participou com uma delegação, foi também acompanhado, no dia 29 de setembro, pelo VIII Fórum EPS - Física e Sociedade. O fórum, com o subtítulo “Física e ética, para a sociedade no Horizonte 2050”, destinou-se a organizar, debater e a preparar a nova declaração da Sociedade Europeia de Física, sobre estes temas.

Para mais informações consultar www.eps50.org e <http://www.forumphysicsandsociety.org/>.



FÍSICA2018

Pedro Costa¹, Rui Travasso¹, Sandra Soares², Luís Amoreira², Ma Conceição Abreu³

¹ Delegação Regional do Centro da SPF, Departamento de Física, Universidade de Coimbra

² Faculdade de Ciências, Universidade da Beira Interior

³ Direção da SPF

A 21ª Conferência Nacional de Física e o 28º Encontro Ibérico para o Ensino da Física decorreram de 29 de agosto a 1 de setembro na Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade da Beira Interior (UBI). Foi uma organização conjunta da SPF, do Departamento de Física e da Faculdade de Ciências da Saúde (FCS) da UBI. No *link*: <https://eventos.spf.pt/fisica2018/pt/> podem ser vistos mais detalhes.

Esta conferência bienal contou com 225 participantes, dos quais 65 usaram a participação na conferência para realizar uma Ação de Formação, tendo assim reunido a comunidade nacional de físicos, abrangendo docentes do ensino básico ao superior, investigadores e estudantes de todas as áreas da Física, com o objetivo de partilhar entre si o estado atual do conhecimento em Física.

O ambiente geral foi de grande descontração e conforto revelado nos comentários feitos pelos participantes em diversas ocasiões e testemunhado nos relatórios dos colegas do Ensino Básico e Secundário que participaram na formação.

Na FÍSICA2018, manteve-se a tradição de dar ênfase não apenas aos temas de Física galardoados com o prémio Nobel nos dois anos entre as Conferências, mas também aos que tiveram relevância científica, didática, tecnológica e social no biênio. Por este motivo, foram convidados palestrantes de reconhecido mérito científico de diversas áreas da Física. Tivemos a honra de contar com a participação do prémio Nobel de 2016, J M Kosterlitz, professor na Universidade de Brown em Providence, nos Estados Unidos da América. Foi também proferida uma palestra sobre ondas gravitacionais por Vítor Cardoso, cientista e professor do Instituto Superior Técnico. Deu-se, igualmente, importância a assuntos de preocupação atual, como é o caso da radioatividade, aproveitando o facto da Covilhã estar relativamente perto da central nuclear de Almaraz e de se situar numa região do país onde a exposição ao radão é bastante elevada. Para se reforçar este tema, promoveu-se uma mesa redonda aberta ao público em geral designada “O impacto da Física Nuclear na vida do dia a dia” e palestras sobre o desmantelamento de centrais nucleares. Foram tam-

bém apresentados 79 pósteres e realizadas 12 sessões paralelas, com um total de 68 apresentações, nas seguintes áreas: Astronomia e Astrofísica, Física Médica, Ensino da Física, Geofísica, Oceanografia e Meteorologia, Física de Partículas, Ótica e Lasers, Física de Plasmas, Física Matéria Condensada, História da Física, Física Atómica e Molecular, e Física Nuclear.

No Encontro Ibérico cada participante pôde escolher duas oficinas de um conjunto de 10. As oficinas contaram, no total, com 68 formandos e proporcionaram 340 horas de formação. Os temas estavam relacionados com as linhas orientadoras da conferência (Física, Saúde, Radiação, Ensino) e, juntamente, com o Encontro Ibérico, estiveram acreditadas pelo Conselho Científico Pedagógico de Formação Contínua, com o registo CCPFC/ACC-100825/18.

Durante o jantar da conferência, foram distinguidos com o título de Sócio Honorário colegas eméritos maioritariamente pertencentes à Delegação do Centro. Esta distinção foi atribuída às Professoras Doutoras M^ª Helena Nazaré e Ana M^ª Barbosa Eiró, e aos Professores Doutores Carlos Conde, Luis Alte da Veiga, Armando Policarpo e Manuel Fiolhais. A SPF reconheceu ainda o trabalho exemplar da colega Cristina Pinho que esteve em mobilidade na SPF no ano letivo de 2017/2018, com a tarefa hercúlea de organizar e levar a bom termo múltiplas tarefas das Olimpíadas Internacionais que decorreram entre 21 e 29 de julho em Lisboa. Foi igualmente homenageada a Sr^ª D. Maria José Couceiro, Secretária da Direção Nacional e da SPF em geral, pelos 30 anos de dedicação incondicional à SPF.

Na sessão de encerramento, o presidente da Delegação Regional do Centro da SPF entregou os certificados de distinção aos melhores pósteres. Os prémios às três equipas vencedoras do Projeto MEDEA 9 foram entregues pelo Prémio Nobel J M Kosterlitz aos quinze alunos vencedores. O 1º lugar foi atribuído a

cinco alunos pertencentes à Escola Júlio Dantas de Lagos, coordenados pela professora Octávia Santos. Em segundo e em terceiro lugares ficaram os alunos do Agrupamento de Escolas Camilo Castelo Branco de Vila Nova de Famalicão, coordenados pela professora Teresa Martins. Estes prémios foram entregues na presença do Dr. José Pedro Abrantes da REN (Redes Energéticas Nacionais), patrona deste projeto.

Houve ainda a entrega de prémios da Associação “Atlas do Saber”, em cujo o conselho científico a SPF tem uma representante. O 1º prémio, atribuído a um grupo de alunos e professores da Escola Secundária Arco-íris da Portela, foi oferta da Rotary Portugal.

A presidente da División de Enseñanza y Divulgación de la Física (DEDF) da RSEF, Profª Verónica Trício, anunciou o local do próximo Encontro Ibérico para o Ensino da Física que decorrerá em Zaragoza em 2019.

Terminamos com um sincero agradecimento a todos os colegas que participaram e ajudaram na organização deste evento e à empresa InSci que apoiou logisticamente toda a conferência.



Fotografias da Física 2018, 21ª Conferência Nacional de Física e o 28º Encontro Ibérico para o Ensino da Física decorreram de 30 de agosto a 1 de setembro na Faculdade de Ciências da Saúde da Universidade da Beira Interior (UBI).

Novo selo, com o tema das Olimpíadas Internacionais de Física em Lisboa

A realização em Lisboa da 49ª Olimpíada Internacional de Física, que decorreu entre 21 e 29 de julho de 2018, foi tema de uma emissão filatélica comemorativa por parte dos CTT. A física volta assim a “circular”



nas cartas enviadas de Portugal, depois de o mesmo já ter acontecido aquando de eventos marcantes como o Ano Internacional da Física (2005), o Ano Internacional da Astronomia (2009) e o Ano Internacional da Cristalografia (2014), entre outros. A Gazeta da Física regista e saúda esta iniciativa, felicitando os CTT e os autores das ilustrações pela originalidade das mesmas.

Olimpíadas de Física

Fernando Nogueira¹

¹ Departamento de Física, Universidade de Coimbra

1. Olimpíadas Regionais de Física

A XXXIV edição das Olimpíadas de Física decorreu no dia 5 de maio de 2018 em cinco locais distintos (em simultâneo): os Departamentos de Física das Universidades do Porto e de Coimbra, o pólo do Instituto Superior Técnico no Taguspark, a Universidade dos Açores, em Ponta Delgada, e a Universidade da Madeira, no Funchal. Estiveram envolvidos nesta atividade 509 alunos do 9º ano, provenientes de 172 escolas diferentes, e 470 alunos do 11º ano, oriundos de 173 escolas. Recorde-se que, embora as provas sejam as mesmas para todas as delegações da SPF, as escolas participam nesta fase das olimpíadas deslocando-se à delegação da SPF a que estão associadas. Os alunos realizam duas provas, uma teórica e uma experimental, sendo a participação no escalão B feita a título individual, enquanto no escalão A os alunos concorrem em equipas com um máximo de três elementos.

O número de participantes nas Olimpíadas Regionais de Física parece ter estagnado, após a recuperação da ligeira quebra verificada em 2013, e apesar da introdução da etapa de escola, como se pode constatar na figura 1.

A distribuição dos participantes por região (N – Norte, C – Centro, S – Sul, M – Madeira, A – Açores, ver figura 2, continuou a evidenciar uma relativamente

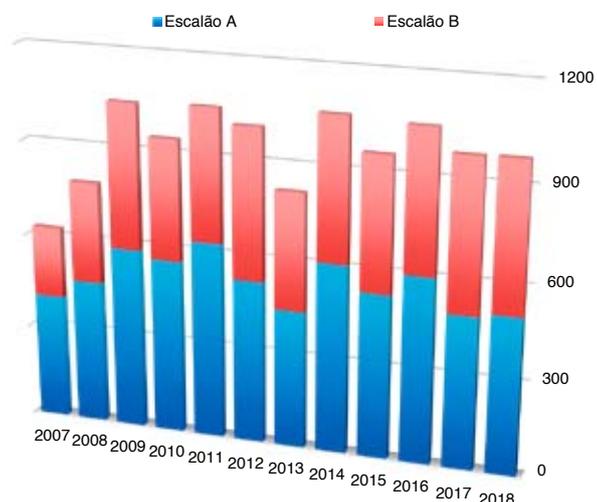


Fig. 1 - Número de participantes nas Olimpíadas Regionais de Física

baixa mobilização das escolas afetas à região Sul. As características geográficas desta região, cuja sede está muito afastada, por exemplo, do Algarve, podem facilmente justificar esta fraca participação (atendendo a que nesta região se concentra 41 % da população portuguesa), embora a duração das viagens Algarve-Lisboa não seja superior à das viagens do interior Centro ou Norte para Coimbra e Porto, respetivamente.

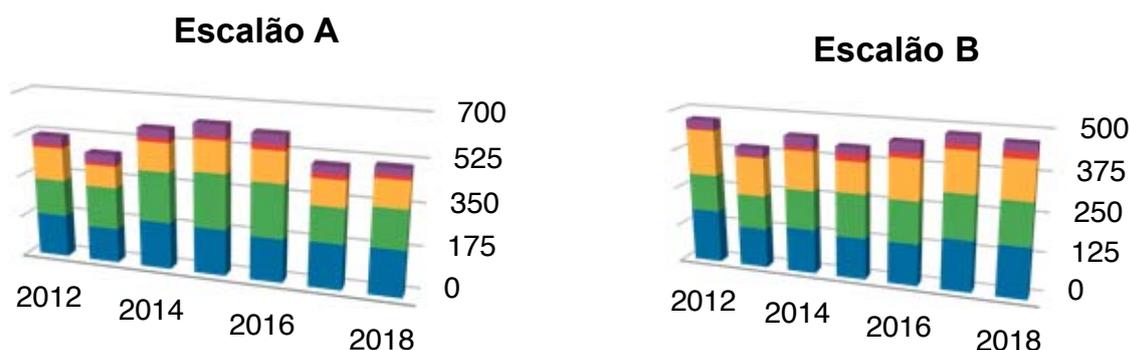


Fig. 2 - Distribuição dos participantes por região (N - Norte, C - Centro, S - Sul, M - Madeira, A - Açores)

Os vencedores da Olimpíada Regional foram:

Escalão B

Região Norte

1. Nuno Gabriel Carvalho Carneiro
(E.S. Santa Maria Maior, Viana do Castelo)
2. Luís Fernando Machado
(Colégio D. Diogo de Sousa, Braga)
3. Afonso Oliveira Magalhães
(E.S. Camilo Castelo Branco, V. N. de Famalicão)
Ana Sofia Camões de Sousa
(E.S. de Valongo, Valongo)
Francisco Amorim
(Colégio Internato dos Carvalhos, V. N. de Gaia)
Francisco Pereira da Silva Antunes (Grande Colégio Universal, Porto)
Guilherme Fonseca Gonçalves
(Grande Colégio Universal, Porto)
Henrique Costa Sousa
(Colégio Casa Mãe, Baltar)
Luís Fonseca Rodrigues
(E.S. c/ 3.º ciclo Martins Sarmiento, Guimarães)
Mário António Geraledes Vaz
(E.S. Emídio Garcia, Bragança)

Região Centro

1. Rafael Diogo Soares
(E.S. Domingos Sequeira, Leiria)
2. José Filipe Bernardo Afonso
(E.S. Nuno Álvares, Castelo Branco)
3. Javier Perez-Sasia Silva
(E.S. D. Duarte, Coimbra)
João Paulo Ribeiro Camarneiro
(E.S. José Estevão, Aveiro)
Manuel António Silva Lopes
(E.B. 2+3 c/ E.S. José Falcão, Miranda do Corvo)
Maria Eduarda Loureiro Caldeira
(E.S. Nuno Álvares, Castelo Branco)
Mariana Marques Barreto Lopes Pires
(E.S. Alves Martins, Viseu)
Rodrigo António Catarino Ferreira
(E.S. Domingos Sequeira, Leiria)

- Ruben Bastos da Silva
(E.S. José Estevão, Aveiro)
Xavier Manuel Morais Lopes
(E.S. Dr. Joaquim de Carvalho, Fig. da Foz)

Região Sul

1. David Belo Nassauer
(E.B.+S. D. Filipa de Lencastre, Lisboa)
2. Inês Isabel Gouveia Cipriano Piedade Moreira
(Colégio Manuel Bernardes, Lisboa)
3. Henrique Sousa Santos
(E.S. de Montemor-o-Novo, Montemor-o-Novo)
Afonso Bispo Certo
(E.S. José Saramago, Mafra)
André de Sousa Guimarães
(Externato Marista de Lisboa, Lisboa)
Beatriz Vivas Matias
(E.S. José Gomes Ferreira, Lisboa)
Gonçalo Reis de Carvalho
(E.S. Vergílio Ferreira, Lisboa)
João Rodrigo de Almeida V. F. Coimbra
(E.S. Daniel Sampaio, Almada)
Luís Miguel Gouveia Cipriano Messias
(Colégio Manuel Bernardes, Lisboa)
Vicente Conde Mendes
(Colégio Pedro Arrupe, Lisboa)

Açores

1. André Gonçalves Gomes
(E.S. Antero de Quental, Ponta Delgada)
2. Francisco Teles da Costa
(E.S. Domingos Rebelo, Ponta Delgada)
3. Nuno Miguel Soares Resendes
(Colégio dos Castanheiros, Ponta Delgada)

Madeira

1. João Bernardo Baptista Vieira Dias
(E.S. Jaime Moniz, Funchal)
2. César Alexandre Silva Freitas
(E.S. Francisco Franco, Funchal)
3. Margarida Ferreira Ribeiro
(E.S. Francisco Franco, Funchal)

Escalão A

Região Norte

1. Afonso Soares da Costa Resende, Isabel Conde Domingues, Pedro Afonso da Cunha Nogueira (E.B. 2+3 D. Pedro IV, Mindelo)
2. Inês Borges Pina, Marta Sofia Matos Castela Queirós Gonçalves, João Henrique Ribeiro Dias (Colégio de Nossa Senhora da Conceição, Guimarães)
3. Tiago Nuno Lage da Cunha Vieira de Araújo, Nickolas Carlos Grothe, Marco Alexandre Fernandes Pereira (E.B. 2+3 Castelo da Maia, Maia)

Região Centro

1. Francisca Mota Santos, Henrique Silva Jesus, Joana Cardoso Cruz (E.B. 2+3 Vilarinho do Bairro, Vilarinho do Bairro)
2. Tomás Miguel Mota Silva, Francisco Saraiva de Sousa, Vicente Ricardo Martins Domingues (Externato Liceal de Alberg. dos Doze, Alberg. dos Doze)
3. Rodrigo Miguel Medeiros Akermann Coelho Ferreira, Pedro Xavier Costa Almeida, Duarte Veiga Santos (E.B. 2+3 Grão Vasco, Viseu)

Região Sul

1. António da Rocha Neves, Leonor Ilharco de Carvalho da Conceição Ferreira, Lopo Maria Pinto Basto de Aires Mateus (Colégio Salesiano Oficinas de S. José, Lisboa)
2. Gabriel Carvalhais Freitas Moreira da Costa, Patrícia Silva Costa, Miguel Lopes Ramos do Monte e Freitas (Externato Frei Luís de Sousa, Almada)
3. Pedro Guilherme Pardal Canas Ferreira, Tomás Alberto Gomes Martins, João Afonso Beleza Pereira Seixas e Sousa (Colégio Pedro Arrupe, Lisboa)

Açores

1. Guilherme Alberto do Couto Gonçalves, Bernardo Sousa Alves, Miguel Marques Coluna Cymbron (E.S. Domingos Rebelo, Ponta Delgada)
2. Lourenço Gouveia Faria, Henrique Sampaio Medeiros, Daniela Sousa Oliveira (E.S. das Laranjeiras, Ponta Delgada)
3. Helena de Sousa da Silveira Bettencourt, Manuel Beata Campos da Rocha Fontes, Sara Alvernaz Teixeira (E.B.+S. das Velas, Velas)

Madeira

1. Artur Alexandre Freitas Mendonça, Diogo Alves Azevedo, Francisco dos Santos Freitas (E.B.+S. Bispo D. Manuel Ferreira Cabral, Santana)
2. Mafalda Beatriz Pereira Jardim, Inês Sofia Henriques Barros, Rodrigo José da Câmara Alves (E.B.+S. Gonçalves Zarco, Funchal)

3. Eduardo Martins Oliveira, Mariana Fernandes Mendonça (E.B.+S. Prof. Dr. Francisco de Freitas Branco, P. Santo)

As provas podem ser consultadas em <http://olimpiadas.spf.pt/regionais/2018.shtml>.

2. Olimpíadas Nacionais de Física

A segunda e última etapa das XXXIV Olimpíadas de Física, as Olimpíadas Nacionais de Física, foi organizada pela Delegação Norte e decorreu no Departamento de Física e Astronomia da Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, nos dias 1 e 2 de junho de 2018. Participaram na etapa nacional todos os premiados da etapa regional, isto é, 31 alunos do escalão A (faltaram 2 alunos), divididos em 11 equipas, e 36 alunos do escalão B. Os vencedores desta etapa foram:

Escalão B

1. André Gonçalves Gomes (E.S. Antero de Quental, Ponta Delgada)
2. David Belo Nassauer (E.B.+S. D. Filipa de Lencastre, Lisboa)
3. Rafael Diogo Soares (E.S. Domingos Sequeira, Leiria)
César Alexandre Silva Freitas (E.S. Francisco Franco, Funchal)
Francisco Pereira da Silva Antunes (Grande Colégio Universal, Porto)
Francisco Teles da Costa (E.S. Domingos Rebelo, Ponta Delgada)
Gonçalo Reis de Carvalho (E.S. Vergílio Ferreira, Lisboa)
Henrique Costa Sousa (Colégio Casa Mãe, Baltar)
José Filipe Bernardo Afonso (E.S. Nuno Álvares, Castelo Branco)
Nuno Gabriel Carvalho Carneiro (E.S. Santa Maria Maior, Viana do Castelo)

Escalão A

1. Guilherme Alberto do Couto Gonçalves, Bernardo Sousa Alves, Miguel Marques Coluna Cymbron (E.S. Domingos Rebelo, Ponta Delgada)
2. Pedro Xavier Costa Almeida (E.B. 2+3 Grão Vasco, Viseu)
3. Tiago Nuno Lage da Cunha Vieira de Araújo, Nickolas Carlos Grothe, Marco Alexandre Fernandes Pereira (E.B. 2+3 Castelo da Maia, Maia)

As provas podem ser consultadas em <http://olimpiadas.spf.pt/nacionais/2018.shtml>

Os vencedores do escalão B da etapa nacional ficaram pré-selecionados para uma preparação a decorrer durante o ano letivo de 2018/2019 que os poderá levar a representar Portugal em 2019 na L Olimpíada Internacional de Física (Tel Aviv, Israel) ou na XXIV Olimpíada Ibero-Americana de Física (El Salvador). Os seguintes alunos ficaram também pré-selecionados para esta preparação:

Ana Sofia Camões de Sousa
(E.S. de Valongo, Valongo)

André de Sousa Guimarães
(Externato Marista de Lisboa, Lisboa)

Francisco Amorim
(Colégio Internato dos Carvalhos, Vila Nova de Gaia)

Inês Isabel Gouveia Cipriano Piedade Moreira
(Colégio Manuel Bernardes, Lisboa)

Luís Fonseca Rodrigues
(E.S. c/ 3.º ciclo Martins Sarmento, Guimarães)

Maria Eduarda Loureiro Caldeira
(E.S. Nuno Álvares, Castelo Branco)

Mariana Marques Barreto Lopes Pires
(E.S. Alves Martins, Viseu)

Mário António Gerales Vaz
(E.S. Emídio Garcia, Bragança)

Rodrigo António Catarino Ferreira
(E.S. Domingos Sequeira, Leiria)

Vicente Conde Mendes
(Colégio Pedro Arrupe, Lisboa)

Os vencedores do escalão A estão pré-selecionados para representar Portugal, em 2020, na XVIII Olimpíada Europeia de Ciência (EUSO'2020), a decorrer na Eslováquia.

As figuras 3 e 4 mostram a cerimónia de entrega de prémios aos vencedores dos escalões A e B. A figura 5 mostra a cerimónia de entrega das menções honrosas relativas ao escalão B.



Fig. 3 - Entrega de prémios aos vencedores do escalão A. De cima para baixo, os medalhados com ouro (Guilherme Alberto do Couto Gonçalves, Bernardo Sousa Alves, Miguel Marques Coluna Cymbron, E.S. Domingos Rebelo, Ponta Delgada), prata (Pedro Xavier Costa Almeida, E.B. 2+3 Grão Vasco, Viseu) e bronze (Tiago Nuno Lage da Cunha Vieira de Araújo, Nickolas Carlos Grothe, Marco Alexandre Fernandes Pereira, E.B. 2+3 Castelo da Maia, Maia).

3. Olimpíadas Internacionais de Física

A Sociedade Portuguesa de Física esteve, mais uma vez, envolvida na participação portuguesa em três olimpíadas internacionais: a Olimpíada Internacional de Física (IPhO), a Olimpíada Ibero-americana de Física (Olbf) e a Olimpíada Europeia de Ciência (EUSO). A preparação da equipa portuguesa para a IPhO e a Olbf iniciou-se no âmbito da escola "Quark!", em Coimbra, tendo todos os alunos pré-selecionados frequentado as seis sessões da escola em 2018 (uma por mês, de janeiro a junho). As sessões tiveram sempre início num sábado às 9h00 e terminaram no domingo, pelas 17h00. Participaram nestas sessões, além dos pré-selecionados para as olimpíadas, cerca de 50 alunos do 11º e 12º ano, provenientes de todo o país, interessados em Física.



Fig. 4 - Entrega de prémios aos vencedores do escalão B. De cima para baixo, os medalhados com ouro (André Gonçalves Gomes, E.S. Antero de Quental, Ponta Delgada), prata (David Belo Nassauer, E.B.+S. D. Filipa de Lencastre, Lisboa) e bronze (Rafael Diogo Soares, E.S. Domingos Sequeira, Leiria).



Fig. 5 - Entrega das menções honrosas (escalão B).

Ao longo das seis sessões foram sendo disponibilizados elementos de estudo, designadamente provas (e respetivas soluções) de Olimpíadas Internacionais de anos anteriores. Além destes elementos, uma boa parte da preparação foi feita à distância através do fórum da escola “Quark!” (<http://quark.fis.uc.pt/>) onde se disponibilizaram problemas e soluções para treino. Foi fornecido aos alunos um livro de estudo adequado aos currícula das Olimpíadas Internacionais: *Physics for Scientists and Engineers with Modern Physics*, de Raymond A. Serway e John Jewett (Brooks/Cole, 9th edition, 2013, ISBN: 978-1133953999).

3.1. Seleção dos alunos para a IPhO e a OIbF

As provas de seleção para a IPhO e a OIbF decorreram no Departamento de Física da Universidade de Coimbra no dia 19 de maio de 2018 e consistiram, à semelhança das provas internacionais, numa prova teórica e numa prova experimental, constituída por duas experiências.

Os resultados foram os seguintes:

1. Diogo Miguel Ferreira Rodrigues
(E.S. do Castelo da Maia, Castelo da Maia)
2. Tomás Soares de Carvalho Feith
(E.S. José Gomes Ferreira, Lisboa)
3. Rafael Russo Almeida
(E.S. Alves Martins, Viseu)
4. Gustavo Xavier Delerue Marinho Alves
(Colégio Luso Francês, Porto)
5. David Belo Nassauer
(E.B.+S. D. Filipa de Lencastre, Lisboa)
6. Rafael Feteira Marcelino de Freitas Oliveira
(E.T.L. Salesiana de Sto. António, Estoril)
7. Rui Barreira Morais Pinto
(Colégio Luso Francês, Porto)
8. Miguel Cardoso Pedro
(E.B.+S. Pedro Fonseca, Proença-a-Nova)
9. João Francisco Paulo Morais
(E.S. de Mirandela, Mirandela)
- Bruno Miguel Silva de Oliveira
(Externato Frei Luís de Sousa, Almada)
- Diogo António Ribeiro Pinheiro
(E.B.+S. de Vale de Ovil, Vale de Ovil)
- Duarte Miguel da Silva Feiteira
(Agrupamento de Escolas do Bonfim, Portalegre)
- Francisco Manuel Alves dos Santos Ferreira
(E.S. São Pedro, Vila Real)
- João Pedro Cavaco Antunes
(E.S. Poeta António Aleixo, Portimão)
- Luís Miguel Marques Lourenço
(E.B.+S. Pedro Fonseca, Proença-a-Nova)

Nicholas Pedrosa Hopf
(E.S. Dr. Joaquim Gomes Ferreira Alves, Vila Nova de Gaia)

Pedro Miguel Pires Coelho
(E.S. Alves Martins, Viseu)

Os cinco primeiros classificados ficaram apurados para representar Portugal na IPhO'18, em Lisboa, que decorreu de 21 a 29 de julho de 2018, e os estudantes classificados do 6º ao 9º lugar ficaram apurados para a OlbF'18, que decorreu em Mayagüez, Porto Rico, de 20 a 28 de outubro de 2018.

As provas podem ser consultadas em <http://olimpiadas.spf.pt/apuramento/2018.shtml>

Os alunos selecionados para a IPhO tiveram ainda uma sessão de preparação, em Coimbra, de 2 a 6 de julho de 2018. Os alunos selecionados para a OlbF, além da sessão de preparação de julho, tiveram ainda sessões de preparação adicional, em Coimbra, nos dias 6 e 7 e 13 e 14 de outubro de 2018.

3.2. A XLIX IPhO

A Olimpíada Internacional de Física decorreu em Lisboa, de 21 a 29 de julho de 2018, tendo participado na competição 396 estudantes do ensino secundário de 86 países. Nesta competição os estudantes sujeitam-se a duas provas (uma experimental e uma teórica) que decorrem em dois dias diferentes e têm uma duração de 5 horas cada. A maioria dos temas abordados não consta dos programas oficiais do ensino secundário português, incluindo sobretudo assuntos que são abordados apenas no primeiro ano dos cursos universitários de Física e alguns tópicos que são abordados no segundo ano desses cursos. Note-se, no entanto, que o syllabus destas olimpíadas coincide com o programa do ensino secundário de um vasto número dos países participantes. Em 2018 esta olimpíada foi organizada pela Sociedade Portuguesa de Física, por delegação do Ministério da Educação. Os problemas teóricos focaram-se em tópicos modernos de Física: ondas gravitacionais, deteção de neutrinos e física dos sistemas biológicos. As provas experimentais consistiram em estudar transístores de efeito de campo (um de junção – JFET – e um de filme fino, recorrendo à eletrónica de papel) e determinar as constantes viscoelásticas de um polímero. O vencedor absoluto foi um estudante da República Popular da China, Yang Tianhua, que obteve 46,8 dos 50 pontos possíveis.

Durante a Olimpíada Internacional os alunos foram acompanhados pelos team-leaders João Carlos Carvalho e Paulo Gordo, do Departamento de Física da Universidade de Coimbra.

A lista dos estudantes portugueses e respetivos prémios é a seguinte:

- Gustavo Xavier Delerue Marinho Alves
(Colégio Luso Francês, Porto),
Medalha de Bronze
- Diogo Miguel Ferreira Rodrigues
(E.S. do Castelo da Maia, Castelo da Maia),
Menção Honrosa
- David Belo Nassauer
(E.B.+S. D. Filipa de Lencastre, Lisboa),
Menção Honrosa
- Rafael Russo Almeida
(E.S. Alves Martins, Viseu),
Menção Honrosa
- Tomás Soares de Carvalho Feith
(E.S. José Gomes Ferreira, Lisboa),
Menção Honrosa

A figura 6 mostra os prémios obtidos pelos alunos portugueses participantes nas Olimpíadas Internacionais de Física. A figura 7 mostra a equipa participante na IPhO de 2018.

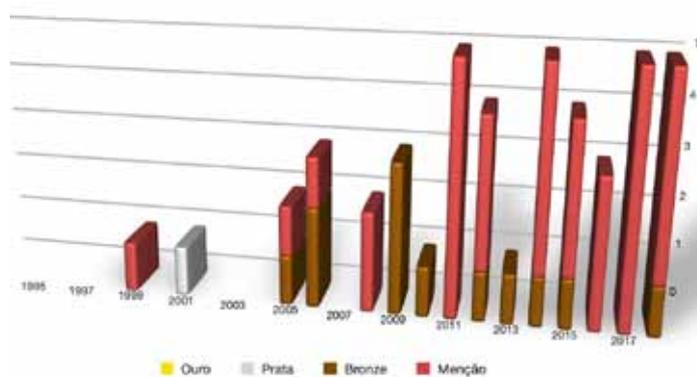


Fig. 6 - Prémios obtidos pelos alunos portugueses na IPhO desde a primeira participação (1994).



Fig. 7 - Equipa portuguesa na XLIX Olimpíada Internacional de Física - IPhO 2018, que decorreu em Lisboa de 21 a 29 de julho de 2018. Da esquerda para a direita: João Carvalho (team-leader, Universidade de Coimbra), Rafael Almeida (menção honrosa, E.S. Alves Martins, Viseu), Gustavo Alves (medalha de bronze, Colégio Luso-Francês, Porto), Tomás Feith (menção honrosa, E.S. José Gomes Ferreira, Lisboa), Diogo Rodrigues (menção honrosa, E.S. do Castelo da Maia, Castelo da Maia), David Nassauer (menção honrosa, E.B.+S. D. Filipa de Lencastre, Lisboa) e Paulo Gordo (team-leader, Universidade de Coimbra).

A XXIII OIBF

A XXIII Olimpíada Ibero-americana de Física decorreu em Mayagüez, em Porto Rico, de 20 a 28 de outubro de 2018. Participaram na competição 64 estudantes de 17 países do espaço ibero-americano. A liderança da delegação portuguesa, de quatro estudantes, esteve a cargo de Rui Travasso e João Carlos Carvalho, da Universidade de Coimbra. A delegação portuguesa obteve um ótimo resultado: **três medalhas de prata e uma medalha de bronze**. O vencedor absoluto desta olimpíada foi um estudante espanhol, Pablo Criado Albillos.

A lista dos estudantes portugueses e respetivos prémios é a seguinte:

- Miguel Cardoso Pedro
(E.B.+S. Pedro Fonseca, Proença-a-Nova),
Medalha de Prata
- João Francisco Paulo Morais
(E.S. de Mirandela, Mirandela),
Medalha de Prata

- Rafael Feteira Marcelino de Freitas Oliveira
(E.T.L. Salesiana de Sto. António, Estoril),
Medalha de Prata
- Rui Barreira Morais Pinto
(Colégio Luso Francês, Porto),
Medalha de Bronze

A figura 8 mostra os prémios obtidos ao longo do tempo pelas equipas portuguesas participantes nas Olimpíadas Ibero-americanas de Física. A figura 9 mostra a equipa participante na OIBF de 2018.

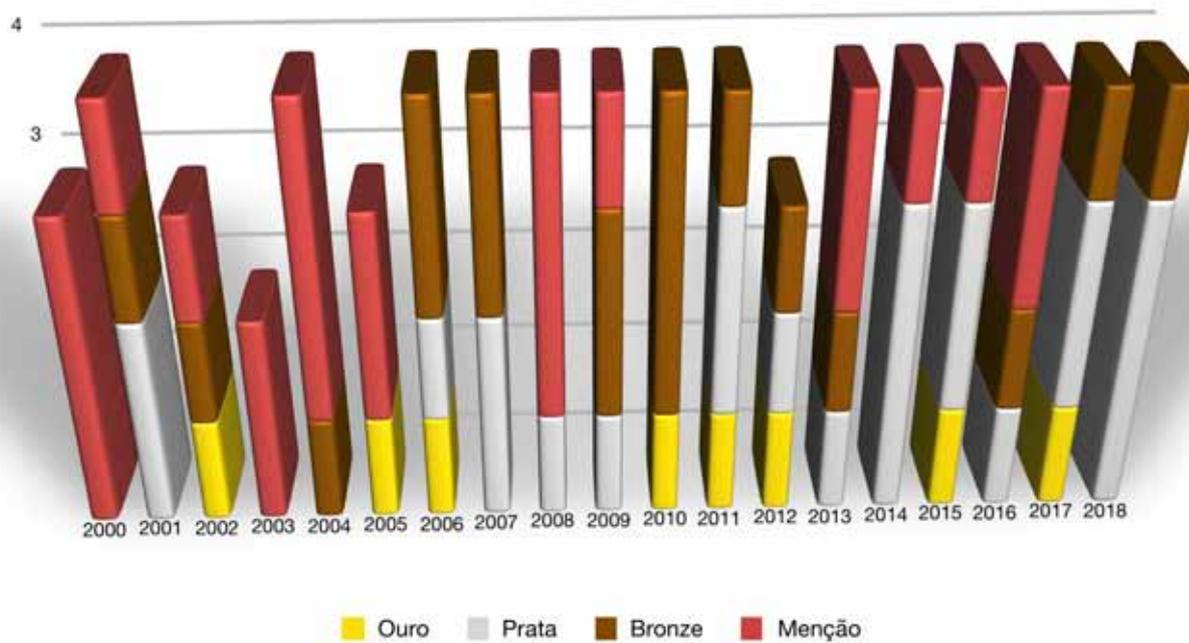
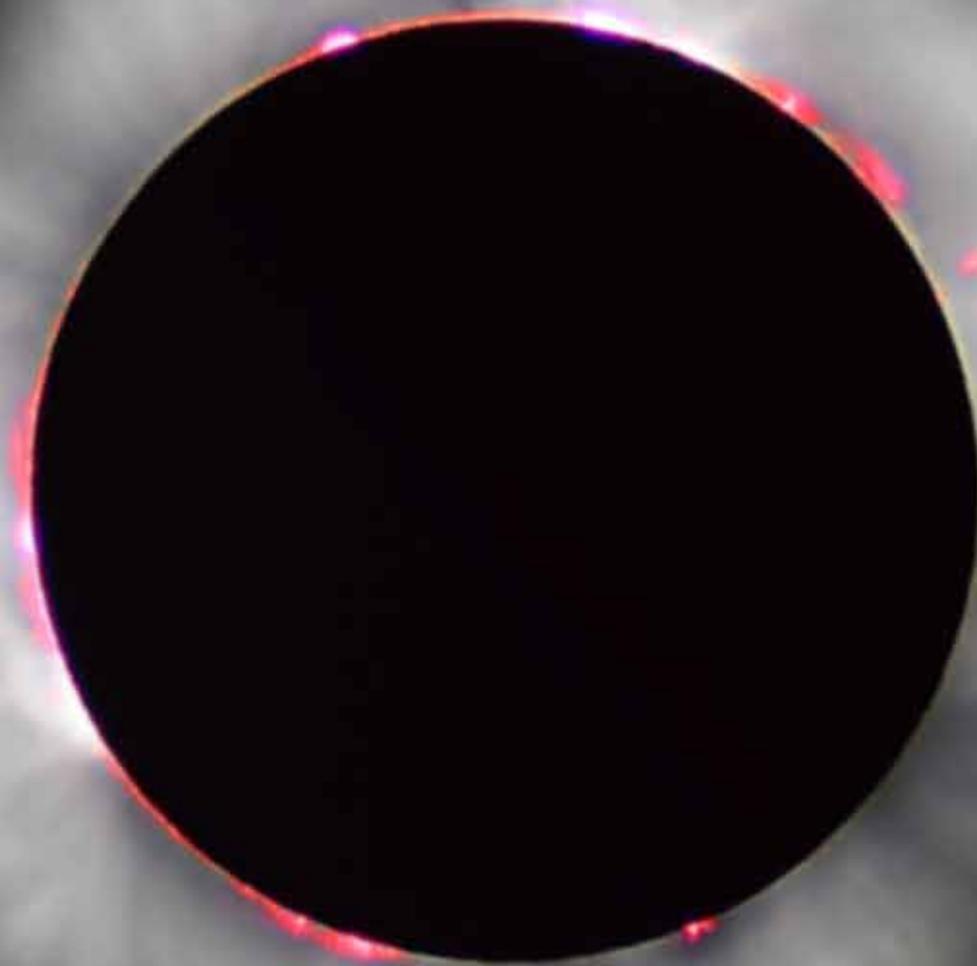


Fig. 8 - Prémios obtidos pelos alunos portugueses na OIBF desde a primeira participação (2000).



Fig. 9 - Equipa portuguesa na Olimpíada Ibero-Americana de Física - OIBF 2018, que decorreu em Mayagüez, Porto Rico, de 21 a 27 de outubro de 2018. Da esquerda para a direita: João Carvalho (team-leader), Miguel Pedro (E.B.+S. Pedro Fonseca, Proença a Nova, medalha de prata), João Morais (E.S. de Mirandela, Mirandela, medalha de prata), Rafael Oliveira (E.T.L. Salesiana de Santo António - Escola, Estoril, medalha de prata), Rui Pinto (Colégio Luso-Francês, Porto, medalha de bronze), Rui Travasso (team-leader) e Carlos Azevedo (observador).

Olimpíadas de Física 2019



PROVAS

Regionais: 4/5/2019

Nacionais: 1/6/2019

Internacionais: 7/2020, Lituânia

Ibero-americanas: 9/2020, Brasil

Escalão A: alunos até ao 9º ano

Escalão B: alunos até ao 11º ano

Inscrições até 31/1/2019

<http://olimpiadas.spf.pt>

Imagem do carraç: Eclipe Solar Total de 11 de agosto de 1998 - imagem captada em França por Luc Vrebout (<https://lucvrebout.be/>)



EDUCAÇÃO



TABELA DE PUBLICIDADE 2018



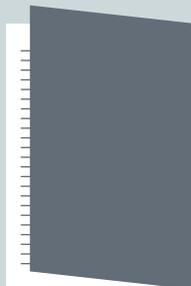
A) verso da capa



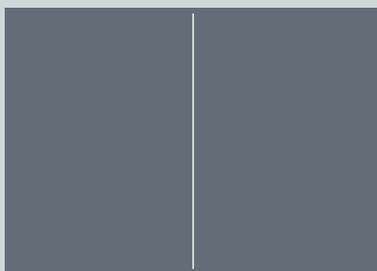
B) destacável/folha



C) verso da contracapa



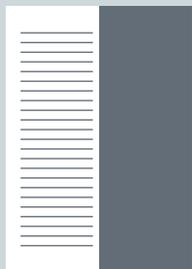
D) contracapa



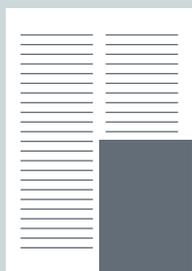
E) página dupla



F) página inteira



G)
coluna ou
1/2 página

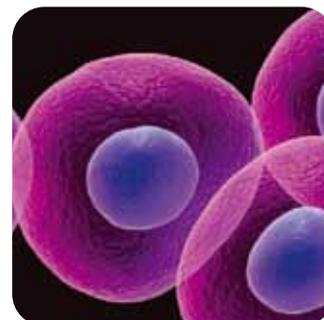
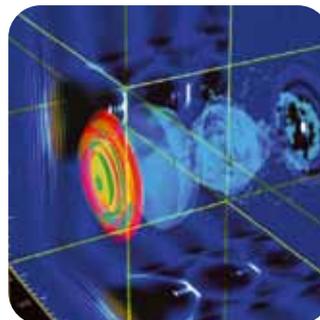
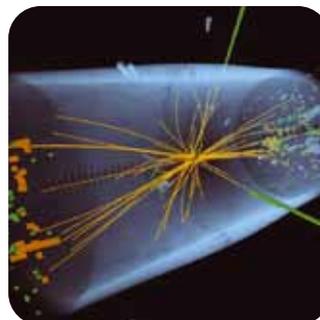


H)
1/4 página
ou faixa

Posição	Preço (Euros)	
	Ímpar	Par
A	1500	
B	1500	
C	1500	
D	2000	
E	2000	
F	1000	900
G	650	550
H	400	350
banner website	100/mês	



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

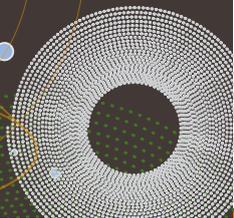


Aos preços da tabela acresce o IVA à taxa em vigor

Descontos de quantidade:
2X: -20% 3X: -25% 4X: -30%

Tiragem anual 2018:
3000 exemplares

Contactos:
Sociedade Portuguesa de Física
Av. República 45, 3ª esq. 1050-187 Lisboa
Tel: 351 21 799 36 65; spf@spf.pt



S. Tomé

30 de Maio a 1 de Junho de 2019

Submissão resumos: até 30 Março 2019

Mais informações: <https://eventos.spf.pt/3cfcplp>

IBER 2019

Iberian Joint Meeting on
Atomic and Molecular
Physics

Évora

10 - 12 Julho 2019

Universidade de Évora

Submissão resumos:
até 1 Maio de 2019

Mais informações: <http://www.iber2019.uevora.pt/>

CMPNC 2019

**Conferência Nacional de
Física da Matéria Condensada**

Porto, 8 - 10 Maio, 2019

Submissão resumos: até 20 Março de 2019

Mais informações:
<https://eventos.spf.pt/CMPNC2019/en/>