

Prêmios para os Neutrinos

DESTAQUE

- Prêmios para a oscilação de neutrinos em 2015

- Pentaquarks
- LHC Run II 2015-2018

- Detetor de matéria escura mais sensível do mundo

- Novo PET pode detetar doenças neurodegenerativas ainda mais cedo

EDITORIAL

Começamos este editorial pelo anúncio do 30º aniversário do LIP, a 9 de maio de 2016, que celebraremos com a exposição “Partículas – do bóson de Higgs à matéria escura”. Esta exposição comemorativa vai percorrer Portugal de norte a sul e será inaugurada na Universidade do Minho, em Braga, a 17 de fevereiro, onde permanecerá até ao dia 9 de março. De Braga a exposição passará depois pela Universidade de Coimbra entre 5 e 23 de abril, e terminará o seu percurso na Reitoria da Universidade de Lisboa, onde estará patente a partir do dia 2 de maio até ao dia 25 desse mês.

Os destaques deste número do boletim vão para diversos aspetos da Física Experimental de Partículas e Astropartículas, permitindo-nos ter uma visão de várias áreas em que se desenvolve trabalho no LIP. Começa em grande, com o artigo de capa sobre a atribuição de “Prémios para os Neutrinos”. O prémio, são o Nobel da Física em 2015 “pela descoberta das Oscilações de neutrinos, que mostram que os neutrinos têm massa” e o prémio Breakthrough para a Física Fundamental, que distinguiu as cinco colaborações que durante mais de uma década consolidaram esta descoberta. Segue-se, como não podia deixar de ser, um relato da experiência do LIP nas colaborações SNO e SNO+.

Dos neutrinos, aos pentaquarks e às possíveis surpresas que os dados da Run II de LHC nos poderão trazer, passamos para a procura de matéria escura com LUX, o detetor mais sensível do Mundo, e terminamos no novo Tomógrafo por Emissão de Positrões (sigla PET, em inglês), desenvolvido com a colaboração do LIP em Coimbra. Este sistema PET pode vir a detetar doenças neuro degenerativas, por ser capaz de distinguir estruturas com dimensões inferiores ao milímetro.

Este número do boletim do LIP dá também o pontapé de saída, e vai acompanhar, a 12ª Edição das Masterclasses Internacionais em Física de Partículas, que desafiam alunos dos 10º, 11º e 12º anos a serem Cientistas por um dia “com as mãos nas partículas”. As Masterclasses de 2016, à semelhança da exposição comemorativa dos 30 anos do LIP, atravessarão o país de norte a sul, entre 17 de fevereiro e 19 de março, alcançando também as ilhas da Madeira, e de São Miguel, marcando também presença em São Tomé e Príncipe! Para mais detalhes sobre as várias localidades e datas, basta consultar o calendário nas últimas páginas deste número.

Boas leituras !

Patrícia Gonçalves e Filipe Veloso

CONTEÚDOS

DESTAQUE 3

Prémios para a oscilação de neutrinos em 2015
Pentaquarks
LHC Run II 2015-2018
Detetor de matéria escura mais sensível do mundo
Novo PET pode detetar doenças neurodegenerativas ainda mais no início

OUTREACH 12

LABLEDs
Masterclasses Calendário 2016
Leituras

LIPIANOS 14

Investigadores do LIP partilham prémio
BreakThrough 2015

AGENDA 15

Nos intervalos entre boletins o bloguetim do LIP permite ter um fluxo mais regular de notícias que serão mais tarde seleccionadas e publicadas na edição seguinte do boletim. Esperamos que algumas notícias motivem discussões animadas...

O bloguetim está disponível em

www.bloguetim-lip.blogspot.pt

Este boletim é interativo.

Este tipo de códigos permite aceder facilmente a conteúdos da internet.



Quando aparece este tipo de código, basta fazer o scan com o telemóvel que seguirá para a página relacionada.

Se o seu telemóvel não tem leitor de QRcode pode facilmente descarregar um em get.neoreader.com

LIP NEWS

edição n.10 fevereiro 2016

O boletim do LIP é uma edição da C4 - Comissão Coordenadora do Conselho Científico do LIP. Esta edição teve a colaboração extra de Conceição Abreu e Catarina Espírito Santo.

Contribuição/Autores Alexandre Lindote, Daniel Galaviz, João Varela, Jorge Sampaio, Luís Peralta, Pedro Bicudo, Sofia Andringa

Edição Gráfica Carlos Manuel

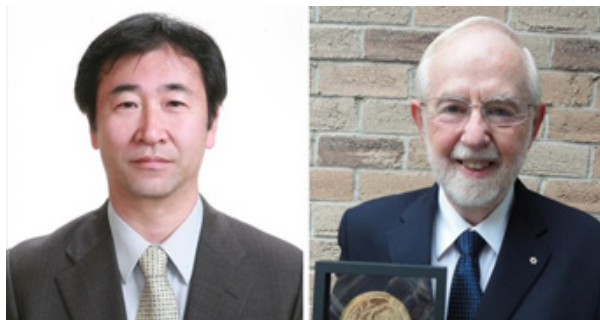
Contatos boletim@lip.pt
www.lip.pt/boletim



Prémios para a oscilação de neutrinos em 2015

Sofia Andringa

O Prémio Nobel da Física de 2015 foi atribuído a T. Kajita (Japão) e A.B. McDonald (Canadá) “pela descoberta das oscilações de neutrinos, que mostram que os neutrinos têm massa”.



Poucas semanas depois foi anunciado que o Prémio Breakthrough para a Física Fundamental era dado aos cientistas de cinco experiências que ao longo de mais de 15 anos consolidaram esta descoberta: no total, mais 1375 investigadores, dos quais quatro do LIP, além dos dois distinguidos com o Nobel.

Os primeiros resultados de oscilação de neutrinos foram obtidos em 1998 por Super-Kamiokande, no Japão, usando os neutrinos de muão produzidos pela colisão de raios cósmicos na atmosfera e, em 2002 por SNO, no Canadá, usando os neutrinos de electrão produzidos pela fusão nuclear no interior do Sol. Nos anos seguintes, estas oscilações foram confirmadas por K2K/T2K e KamLAND, usando neutrinos produzidos em aceleradores e reatores nucleares e detetados a centenas de quilómetros. Escolhendo a relação certa entre distância e energia, estas oscilações podem alterar mais de metade dos neutrinos criados. Só em 2012, a experiência Daya Bay, na China, conseguiu medir uma terceira alteração muito mais pequena, de apenas 5%, fechando-se o triângulo entre os três neutrinos. Este é um bom exemplo de como observações com astropartículas são complementadas por testes criados em laboratório para revolucionar o modelo padrão existente.

Super-Kamiokande, em Kamioka, no Japão, mediu neutrinos e antineutrinos de muão e de electrão produzidos pela interação de raios cósmicos na atmosfera, descobrindo que o número de neutrinos e antineutrinos de muão detetados dependia da distância que percorriam (variando entre as dezenas de quilómetro e dezenas de milhar de quilómetro, para os produzidos acima e abaixo do detetor), e se reduzia a metade para neutrinos vindos de baixo. Confirmou ainda que o número de neutrinos e antineutrinos de electrão não se alterava, podendo servir de referência.

SNO, o Observatório de Neutrinos de Sudbury, no Canadá, descobriu que apenas um terço dos neutrinos de electrão produzidos no Sol se detetava nessa forma (como indicado por experiências anteriores), enquanto que o número total de neutrinos dos três tipos, medido pela primeira vez com um processo só acessível a este detetor, era compatível com o previsto pelo modelo de funcionamento do Sol. Ou seja, o modelo do Sol estava correto e os neutrinos transformavam-se de forma diferente dos neutrinos atmosféricos. O LIP participa na experiência SNO desde 2005.

O que é um neutrino?

Os neutrinos são partículas elementares sem carga eléctrica, e que por isso podem atravessar grandes quantidades de matéria e são muito difíceis de detetar. São criados por exemplo no decaimento beta de alguns isótopos radioativos: a sua existência foi proposta em 1930 exatamente para explicar porque parecia haver energia em falta nessa reacção, e só 25 anos depois os conseguimos detetar. Pouco depois, compreendemos que existem em três tipos: o neutrino de electrão, neutrino de muão e neutrino de tau, conforme a partícula carregada a quem estão associados na produção e deteção.

As medidas diretas indicam que os neutrinos quase não têm massa, ou seja, limitam o seu valor a ser menos de poucos milésimos da massa do electrão. Só o facto de oscilarem entre os três tipos de neutrino enquanto viajam - quando a única característica relevante é a relação entre a sua massa e energia - nos indica que os três valores de massa não são todos iguais entre si, embora as diferenças que medimos sejam muito pequenas ($\Delta m^2_{12} \sim 10^{-4} \text{ eV}^2$ e $\Delta m^2_{23} \sim 10^{-3} \text{ eV}^2$; $m_e = 511 \text{ keV}$). A oscilação de neutrinos é um fenómeno puramente quântico: uma partícula é também uma onda, e cada tipo de neutrino resulta de diferentes somas de três ondas, cada uma com massa bem definida.

K2K, produziu um feixe de neutrinos de muão num acelerador de partículas do laboratório KEK, do Japão, e comparou diretamente a medição feita com um conjunto de detetores dedicados junto do acelerador (sem oscilação) e no Super-Kamiokande, a 250 km, verificando que a oscilação dependia da energia, no mesmo padrão que se havia medido com a distância dos neutrinos atmosféricos. **T2K**, utilizou depois um acelerador mais potente, no J-PARC, a 280 km de Super-Kamiokande, estabelecendo com maior precisão que a maior parte dos neutrinos do muão se transforma em neutrinos do tau, indetetáveis neste caso, mas detendo uma oscilação secundária que os transforma em neutrinos do electrão. Repetiu também a experiência com um feixe de antineutrinos, obtendo resultados consistentes.

KamLAND, também no laboratório de Kamioka, no Japão, mas com um detetor adaptado para energias mais baixas, mediu os antineutrinos de electrão produzidos nos reatores de fissão nuclear para produção de energia, a centenas de quilómetros do detetor, descobrindo um padrão oscilatório em função da energia, compatível com os valores medidos com os neutrinos solares. Conformou assim que os efeitos ocorridos com os neutrinos dentro do Sol podiam ser explicados com o mesmo modelo que explica a oscilação espontânea dos antineutrinos no vazio.

Daya Bay, na China, usou um complexo de detetores de neutrinos e de reatores nucleares, para medir um efeito muito mais pequeno, o desaparecimento de menos de 5% dos antineutrinos do electrão, a 1km do reator nuclear que os origina. Neste caso, a distância foi escolhida tendo em conta os resultados das diferenças de massa medidos pelas experiências anteriores, mas foi obtida uma terceira taxa de mistura, fechando assim o triângulo entre os três neutrinos.

Esta descoberta levanta questões com implicações importantes na fronteira entre a física de partículas e a cosmologia, que são objecto de uma nova geração de experiências. O LIP integra, desde 2005, uma das colaborações premiadas, SNO – Sudbury Neutrino Observatory, dedicada ao estudo de neutrinos solares e trabalha ativamente na preparação da experiência sucessora, SNO+, que se centrará

na procura do decaimento beta duplo sem neutrinos. Este é um processo proibido no Modelo Padrão, que a existir permitirá medir a massa dos neutrinos que pode ter uma origem diferente das outras partículas elementares, e implica que os neutrinos são a sua própria antipartícula, o que poderia ajudar a explicar a assimetria entre matéria e antimatéria no Universo.

Detetores de Neutrinos

Os vários detetores de neutrinos partilham características comuns: um grande volume líquido transparente onde os neutrinos interagem produzindo partículas carregadas, e um grande número de detetores de luz ultra sensíveis, que rodeiam esse volume e detetam os sinais luminosos aí criados pelas partículas carregadas; são construídos e operados em laboratórios subterrâneos, para evitar sinais de raios cósmicos, e rodeados de água pura para evitar sinais da radioatividade externa, de forma a se poderem isolar os raros sinais produzidos pela interação dos neutrinos.

O detetor SNO/SNO+ fica no laboratório subterrâneo SNOLAB, a 2000 m de profundidade, numa mina ativa de extração de níquel, no Canadá. O detetor consiste num volume interior líquido contido por uma esfera de acrílico transparente de 12 m de diâmetro e 5 cm de espessura, e é rodeado por um conjunto de cerca de 9500 sensores de luz numa estrutura de 18 m de diâmetro.

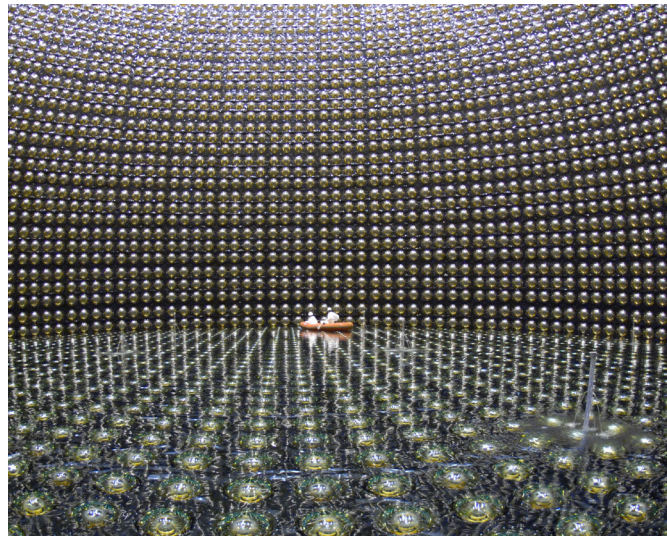
Em SNO, a esfera continha 1000 toneladas de água pesada (uma molécula equivalente à da água, mas em que o hidrogénio é substituído por deutério, com mais neutrões), permitindo dois processos de interação dos neutrinos inacessível a outros detetores – um sensível apenas aos neutrinos de electrão e outro igualmente sensível a todos os tipos de neutrino. As partículas carregadas com velocidade superior à da luz na água eram identificadas pela emissão de radiação de Cherenkov.

Para a nova experiência, SNO+, a mesma esfera conterá 780 toneladas de um líquido cintilador orgânico, que emite muito mais luz, permitindo detetar partículas carregadas de muito menor energia. O detetor teve de ser adaptado para poder conter líquidos de diferente densidade, e para poder lidar com uma muito maior taxa de sinais. O detetor está neste momento a ser cheio de água, que será depois substituída pelo líquido cintilador.

O Super-Kamiokande tem 50 mil toneladas de água pura normal, o que lhe permitiu medir os neutrinos atmosféricos que são muito mais raros, e os dos aceleradores, além dos neutrinos solares – se bem que sem sensibilidade ao número total, que exigiria água pesada. Os detetores de KamLAND e, principalmente, cada um dos detetores de DayaBay, são significativamente mais pequenos que SNO, e utilizaram líquido cintilador para antineutrinos de reator de baixa energia.

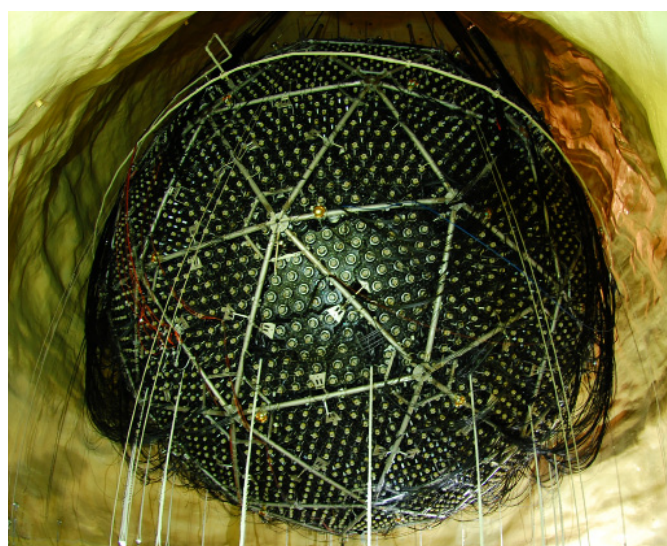
Os neutrinos, o bóson de Higgs e o modelo padrão da física de partículas

A descoberta de que os neutrinos oscilam entre os diferentes tipos previamente separados devido a uma estrutura não trivial de massas foi a primeira falha no modelo padrão da física de partículas. Este é o modelo científico com maior grau de precisão, e foi recentemente completado com a peça final para explicar a massa da maior parte das partículas elementares, com a descoberta do Bóson de Higgs, em que o LIP participou ativamente. A descoberta do Bóson de Higgs foi distinguida com o Prémio Nobel da Física em 2013, dado aos físicos teóricos que o introduziram no modelo padrão, e também com o Prémio Breakthrough, dado aos porta-vozes das colaborações das experiências ATLAS e CMS do LHC.



O interior do detetor Super-Kamiokande.

© Kamioka Observatory, ICRR, The University of Tokyo



O detetor SNO+.

Os neutrinos apontam caminhos para a extensão futura deste modelo, que ainda não explica, por exemplo, a existência da matéria escura que medimos no Universo. Nos próximos anos entram em funcionamento novas experiências de física de neutrinos. Estas concentram-se na procura de diferenças entre neutrinos e antineutrinos, na ordenação (hierarquia) dos valores das três massas de neutrinos, na determinação do valor absoluto da massa dos neutrinos, e na forma como essa massa deve ser introduzida no modelo – se através do mecanismo de Higgs, ou outros possíveis apenas para partículas elementares neutras. SNO+, começará a tomar dados brevemente, e centra-se neste último aspecto. Se os neutrinos forem partículas de Majorana, torna-se possível um novo decaimento radioativo para alguns elementos instáveis, o duplo decaimento beta sem neutrinos (apenas o decaimento equivalente com dois neutrinos é possível no modelo padrão atual). A confirmar-se, a descoberta deste processo assinalaria o carácter de Majorana dos neutrinos massivos, e permitiria estimar o valor da sua massa. Para o testar, o detetor utilizará cintilador líquido dopado com Telúrio. A dopagem inicial será de 0.3%, mas os estudos de I&D dedicados a aumentar a dopagem são promissores, com 3% de Telúrio poderia testar-se toda a região de “hierarquia invertida” da massa dos neutrinos de Majorana.

DESTAQUE

O LIP em SNO e SNO+

O LIP participa em SNO desde 2005 e desempenha hoje um papel fundamental na preparação de SNO+. As principais vertentes desta atividade são descritas abaixo.

Calibração do detetor

A calibração óptica é um passo fundamental para extrair os melhores resultados da análise dos dados. Consiste em produzir sinais luminosos bem conhecidos para testar como são observados nos sensores de luz, permitindo descrever em detalhe a propagação da luz através dos vários meios que tem de atravessar, e garantindo que sabemos relacionar de forma precisa os sinais detetados com a quantidade de luz emitida num qualquer ponto do volume interno. Devido à experiência adquirida em SNO, uma das responsabilidades do LIP é a calibração óptica de SNO+, assumindo a coordenação do grupo de trabalho correspondente.

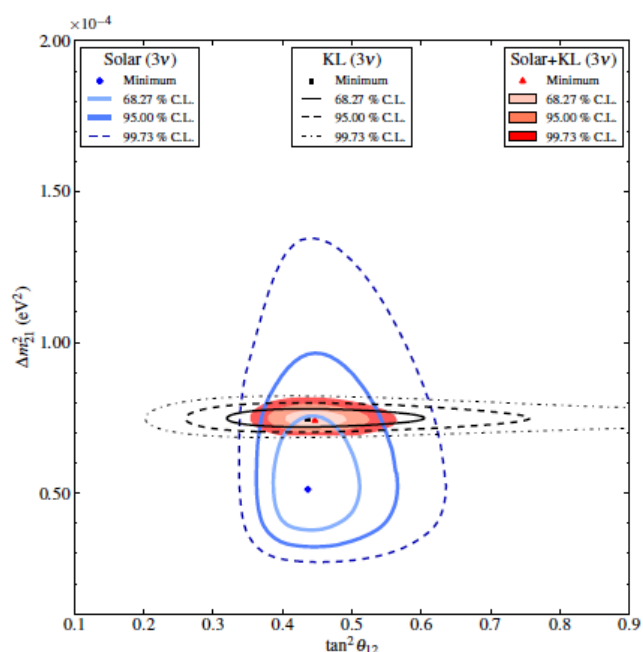


José Maneira (LIP) durante a instalação no detetor SNO+ do sistema de calibração dos sensores de luz com fibras ópticas.

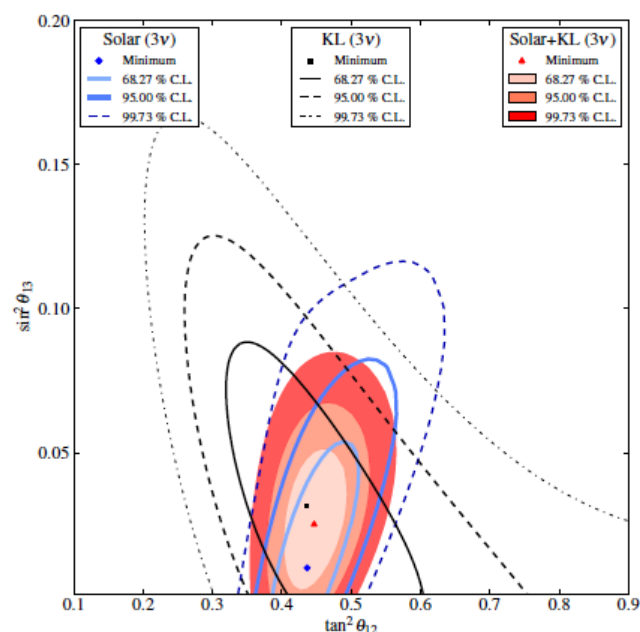
Análise de dados

O LIP participou na análise das oscilações de neutrinos, juntando as três fases de tomada de dados em SNO, com diferentes métodos de deteção de neutrões (usando apenas água pesada entre 1999 e 2001, água pesada dopada com sal de 2001 a 2003 e com sub-detetores de neutrões de 2004 a 2006). Os resultados publicados numa tese de doutoramento e em artigos da colaboração SNO em 2012 e 2013, contribuíram para aumentar a precisão dos resultados iniciais dos chamados parâmetros de oscilação dos neutrinos solares. A sua combinação com os resultados de KamLAND e de outras experiências, permitiram ainda dar primeiras indicações sobre outros parâmetros de oscilação, que vieram a ser medidos mais tarde por T2K e Daya Bay.

Figura (em baixo): Estas imagens mostram os resultados da análise combinada de todas as experiências de neutrinos solares, incluindo os dados das três fase de SNO, bem como da experiência de neutrinos de reactor KamLAND. Os resultados das experiências são interpretados à luz do modelo da oscilação dos neutrinos e permitem identificar os parâmetros físicos do modelo – diferença de massa entre os neutrinos (Δm_{21}^2), que dão a “frequência” das oscilações e ângulos de mistura (θ_{12} , θ_{13}), que dão a “amplitude”. Esta análise foi realizada no LIP, como parte da tese de doutoramento de Nuno Barros. ↓



(a) $(\tan^2 \theta_{12}; \Delta m_{21}^2)$



(b) $(\tan^2 \theta_{12}; \sin^2 \theta_{13})$

Pentaquarks

Pedro Bicudo

A nossa compreensão da estrutura da matéria sofreu uma revolução em 1964, quando o físico americano, Murray Gell-Mann, propôs uma teoria segundo a qual a classe de partículas conhecidas como bariões, que inclui os prótons e os neutrões, são compostas por três objetos com carga fraccionária, chamados quarks, e que outra classe, os mesões, são formados de pares quark-antiquark. Gell-Mann recebeu o Prémio Nobel da Física por este trabalho em 1969. O seu trabalho foi completado por Gerardus 't Hooft e Veltman, bem como Gross, Politzer e Wilczek, que finalizaram em 1973 a teoria das interações fortes entre quarks e glúons, hoje conhecida por Cromodinâmica Quântica (QCD). Estes autores também receberam dois prémios Nobel pelo seu trabalho.

Um dos problemas em aberto mais antigos da QCD reside nos chamados hadrões exóticos, ou seja hadrões mais complexos que os mesões ou bariões. Não conhecemos nenhum teorema em QCD que impeça a existência de hadrões exóticos, primeiro propostos por Jaffe em 1976, sejam eles dizer glueballs de dois glúons ou mais glúons, híbridos, tetraquarks, pentaquarks, hexaquarks. A comunidade científica tem continuado a procurar hadrões exóticos, mas no entanto, este problema acabou por ser muito mais difícil do que se esperava.

Este é um problema muito difícil experimentalmente, já que os candidatos exóticos são ressonâncias imersas no espectro de hadrões excitados, e além disso eles costumam decair para um número elevado de hadrões.

Por isso a notícia de 14 de julho de 2015, anunciada pela colaboração LHCb do "Large Hadron Collider" no CERN relatando a descoberta de um hadrão pertencendo à classe dos pentaquarks caiu que nem uma bomba na comunidade científica. A colaboração apresentou um artigo que apresenta estes resultados à revista Physical Review Letters.

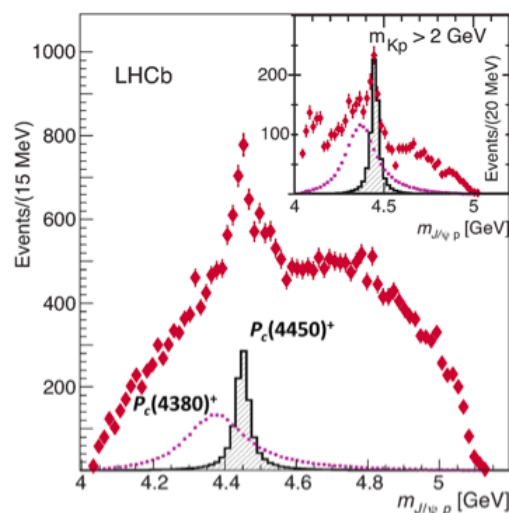
"O pentaquark não é uma nova partícula qualquer", declarou o porta-voz da LHCb, Guy Wilkinson. "Ela representa uma forma de agregar quarks, nomeadamente os constituintes fundamentais dos prótons e neutrões usuais, num padrão que nunca foi observado antes em mais de cinquenta anos de pesquisas experimentais. Estudando suas propriedades poderá permitir-nos entender melhor como a matéria comum, dos prótons e neutrões, a partir da qual somos todos feitos é constituída."

Os investigadores do LHCb observaram os pentaquarks analisando o decaimento de um barião conhecido como Λ_b (**Lambda b**) em três outras partículas, um J/ψ (J -psi), um próton e um kaon carregado. O estudo do espectro de massas do J/ψ e do próton revelou que estados intermédios foram, por vezes, envolvidos na sua produção. Estes estados foram denominados $P_c(4450)^+$ e $P_c(4380)^+$, sendo o

primeiro estado claramente visível como um pico nos dados e sendo o segundo estado necessário para descrever os dados completamente.

Estes dois estados têm semelhanças com os dois tetraquarks descobertos há um ano, também pelo LHCb, os $Z_c(3940)^+$ e $Z_c(4430)^+$. Todos estes estados têm claramente um quark e um antiquark $c\bar{c}$, pela sua massa e por decaírem em canais com $c\bar{c}$, e têm claramente quarks leves por terem isospin diferente de 0, o que evidencia sem sombra de dúvida a sua natureza exótica.

O que é notável nestes quatro estados é o nível de confiança com que foram observados pelo LHCb. Experiências anteriores que propuseram candidatos de tetraquarks ou pentaquarks, acabaram



por não ser confirmadas. A observação do LHCb é diferente pois tem uma luminosidade muito superior às anteriores, bem como verificou diversas propriedades do principal canal de decaimento, e concluiu que a única explicação possível para os dados recolhidos é a existência destes exóticos.

Para estabelecer estes novos pentaquarks, é ainda necessário que sejam confirmados por outras colaborações, como já aconteceu com os tetraquarks Z_c , bem como medir todas as suas larguras de decaimento parcial, ou pelo menos as mais significativas. Aguardamos assim que novas análises sejam publicadas. Os novos dados que o LHCb irá recolher no novo run do LHC 2 são muito importantes pois permitirão aprofundar estas questões.

DESTAQUE

Em termos teóricos existem duas abordagens principais para estudar os tetraquarks e pentaquarks, mas ambas abordagens são ainda bastante difíceis de concertizar. Ou seja os hádrons exóticos também são muito difíceis de estudar teoricamente. Por isso os estudos de tetraquarks estão mais avançados que os de pentaquarks que ainda são mais difíceis de estudar, e iremos focar as dificuldades em estudar tetraquarks.

A abordagem mais fácil mas mais incerta é a de utilizar modelos de quarks. Estes modelos são em primeiro lugar incertos pois, mesmo para o estudo de mésons ou bárions apenas, e com muitos parâmetros de ajuste, não reproduzem correctamente todos os estados conhecidos. De forma que não sabemos se estão correctamente calibrados para o estudo de exóticos. Existe ainda um problema de raiz nos modelos. Um tetraquark pode decair livremente para dois mésons, mantendo o número de partículas dado que não está comprovada uma barreira de potencial que o impeça. E ainda esses dois mésons podem rearranjar-se de duas formas; cada quark pode ligar-se a um ou outro dos antiquarks. Temos então três bases de funções de onda completas, uma de tetraquark e duas de méson-méson, o que origina redundância e complica ainda mais o problema.

Salientamos que em 2008 conseguimos prever com um modelo muito simplificado (Bicudo e Cardoso) um decaimento parcial do $Z_c(4430)^-$ no canal $\pi J/\psi$ consistente com o valor experimental medido pelo LHCb no ano passado. Mas no entanto resta confirmar este resultado com um modelo mais sofisticado (Bicudo, Cardoso).

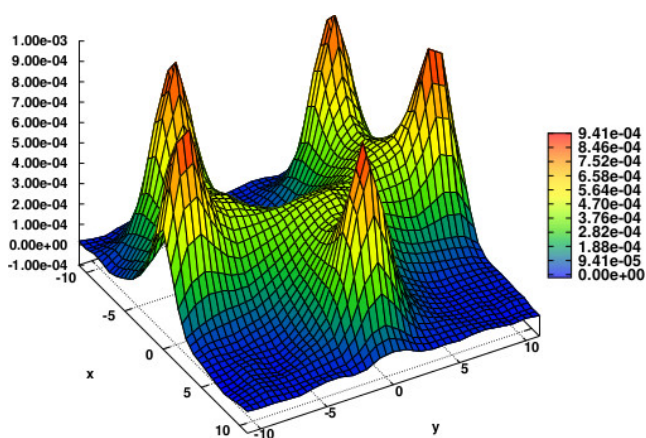
A abordagem mais segura mas mais difícil consistem em usar a lattice QCD, em que resolvemos a QCD à custa de computação muito intensiva, a partir das técnicas desenvolvidas por Wilson em 1974. Wilson também recebeu o prémio Nobel. Notamos que as técnicas e os meios informáticos necessários para estudar as ressonâncias com muitos canais de decaimento permanecem ainda em desenvolvimento. A comunidade da lattice QCD já procurou, em 2014, evidências de

componentes de tetraquark no $Z_c(3940)^-$. Os autores (Prelovsek, Lang, Leskovec, Mohler) consideraram 22 canais de dois mésons, bem como 4 canais de tetraquarks canais, ligando e desligando os canais de tetraquarks, os autores não encontraram nenhum desvios significativo nos 13 canais mais baixos, e como tal o seu resultado final foi negativo. No entanto este estudo não é ainda conclusivo pois seria necessário estudar os pólos da matriz S o que não é ainda possível de realizar em lattice QCD para tantos canais acoplados.

Aproveitamos para salientar que também estamos a usar a lattice QCD em duas diferentes abordagens menos ambiciosas. Uma consiste em estudar os potenciais e tubos de fluxo de tetraquarks e de pentaquarks com cargas estáticas, e realmente ocorrem potenciais que podem ligar pentaquarks (Bicudo, Cardoso, Cardoso).

Outra consiste em aproximar os quarks mais pesados por quarks estáticos com a aproximação de Born-Oppenheimer em colaboração com a Universidade de Frankfurt (Bicudo, Wagner) e (Bicudo, Cichy, Peters, Wagner).

Esperamos em breve ter novos resultados teóricos para apresentar, tanto com modelos de quarks, como em lattice QCD.



- Professor Auxiliar com Agregação do DF IST
- Investigador do Centro de Física Teórica de Partículas
- Presidente do SOS-salvem o surf

bicudo@tecnico.ulisboa.pt

LHC Run II 2015–2018

João Varela

Que surpresas nos trarão os novos dados?

Em 2010-12 o LHC colidiu protões à energia 8 TeV. Os dados adquiridos permitiram a observação do bóson de Higgs, uma das descobertas em física mais importantes das últimas décadas. Esta descoberta foi um marco científico muito significativo, mas foi também “apenas” mais um marco numa longa trajetória. Muitas das perguntas que a física colocava há mais de trinta anos continuam sem resposta e as motivações para o prosseguimento do programa experimental do LHC permanecem abertas. Desconhecemos a natureza da matéria escura necessária para compreender a rotação das galáxias e outras observações cosmológicas desde os anos 70. Desconhecemos a origem da expansão acelerada do universo observada nas medidas de supernovas na década de 90. As observações cosmológicas indicam que o total da massa das galáxias devida às partículas conhecidas representa apenas 4% do total de matéria e energia do Universo. O bóson de Higgs completou o modelo padrão dos constituintes elementares, um dos maiores sucessos da ciência construído ao longo de mais de um século, mas sabemos que este modelo é certamente incompleto. A tabela dos constituintes elementares tem três famílias de partículas, mas apenas a primeira é necessária para explicar a diversidade de elementos e fenómenos físicos observados na Terra. Desconhecemos se há outras partículas por descobrir, se há simetrias adicionais na natureza ou se o espaço-tempo tem mais dimensões do que as que se conhecem, e de que forma a sua possível descoberta poderá responder às nossas perguntas.

O comunidade científica é unânime sobre a maior prioridade da Física de Partículas nos próximos anos, nomeadamente a exploração do potencial do LHC e a sua atualização para a recolher dez vezes mais dados. A atualização para alta luminosidade (projecto HL-LHC), prevista para o início da década de 20, oferece novas oportunidades, em particular medidas de grande precisão do bóson de Higgs e pesquisa de fenómenos raros. Até lá a pesquisa de nova física será o foco do Run II que se iniciou em 2015 depois dos melhoramentos do acelerador e das experiências realizados em 2013-14 e que permitiram aumentar a energia das colisões para 13 TeV. Entre Maio e Dezembro de 2015 foram adquiridos os primeiros dados a 13TeV, demonstrando mais uma vez a grande determinação de todos os participantes no programa LHC.

Na experiência CMS tal com o em ATLAS os físicos trabalharam afincadamente nas análises destes dados e esperaram ansiosamente pelos seus resultados. A energia superior do LHC poderá permitir a observação de novas partículas com massa mais elevada das que se conhecem e que foram observadas a 8TeV. Pesquisas de novas partículas instáveis que se desintegram em pares de partículas conhecidas, tais como quarks, electrões ou múons por exemplo, foram realizadas até agora sem grande sucesso. O volume de dados disponíveis é ainda muito pequeno (cerca de 1% do total que se espera adquirir), e portanto o significado estatístico de novos resultados é ainda pouco expressivo.

No entanto há um caso que gerou considerável interesse. No espectro de massa de pares de fótons observa-se um excesso de eventos em torno da massa de 750 GeV que pode corresponder a uma nova partícula decaindo em dois fótons. O excesso observado em CMS é pouco significativo (2.6 sigma) mas em 15 de Dezembro quando os resultados das duas experiências foram apresentados

publicamente soubemos que ATLAS também observou um excesso (3.8 sigma) no mesmo valor de massa. Claramente os dados são ainda insuficientes para distinguir entre flutuações estatísticas coincidentes nas duas experiências ou a produção de uma nova partícula com características similares ao bóson de Higgs (125 GeV). Mas mesmo assim, apenas um mês após a divulgação dos resultados, já foram publicados no arXiv.org (base de dados de artigos científicos) cerca de 100 papers com explicações possíveis da nova partícula!

Os protões são formados por constituintes elementares designados por quarks e glúons. No LHC as colisões entre protões são de facto ao nível elementar colisões entre quarks e/ou glúons. Por exemplo, sabemos que na maior parte dos casos a produção do bóson de Higgs resulta da colisão entre dois glúons. Conhecer o mecanismo de produção das partículas é extremamente importante para conhecer a sua natureza. Por esta razão, um grupo de investigadores do LIP em colaboração com outros grupos iniciou em CMS o desenvolvimento de novos detetores (CT-PPS) que permitirão realizar e estudar colisões fóton-fóton no LHC a partir de meados de 2016. A ideia é esta: nalguns casos quanto os dois protões se cruzam estes emitem fótons que colidem. Mas os protões permanecem intactos e apenas perdem energia e são desviados da sua trajetória de um pequeno ângulo. Medindo estes dois protões com detetores colocados próximos da linha de feixe é possível identificar os casos que há colisão de dois fótons e medir a energia desta colisão. Tudo se passa como se dispuséssemos de um acelerador de fótons. Por outro lado, se uma partícula de 750 GeV for real e decair em dois fótons, então segundo os princípios básicos da física quântica também deve ser produzida em colisões fóton-fóton, o que permitiria a sua observação e estudo numa perspetiva complementar.

A História ilustrou repetidamente que a pesquisa em ciência fundamental estimula a criação de tecnologias emergentes. A invenção da World Wide Web no CERN é um exemplo bem conhecido. Em muitas outras áreas – tecnologias resistentes a radiações, novos sensores, computação em rede, magnetos supercondutores e sistemas criogénicos de grande porte, processamento digital de alta velocidade, sistemas electrónicos, para citar alguns – a física experimental de partículas desafia os limites da tecnologia disponível promovendo a inovação. Milhares de jovens investigadores recebem formação de alto nível com repercussão em diversas áreas da indústria. No caso português podemos citar o aproveitamento de tecnologia desenvolvida na experiência CMS para construir um novo equipamento de imagem médica destinado à

DESTAQUE

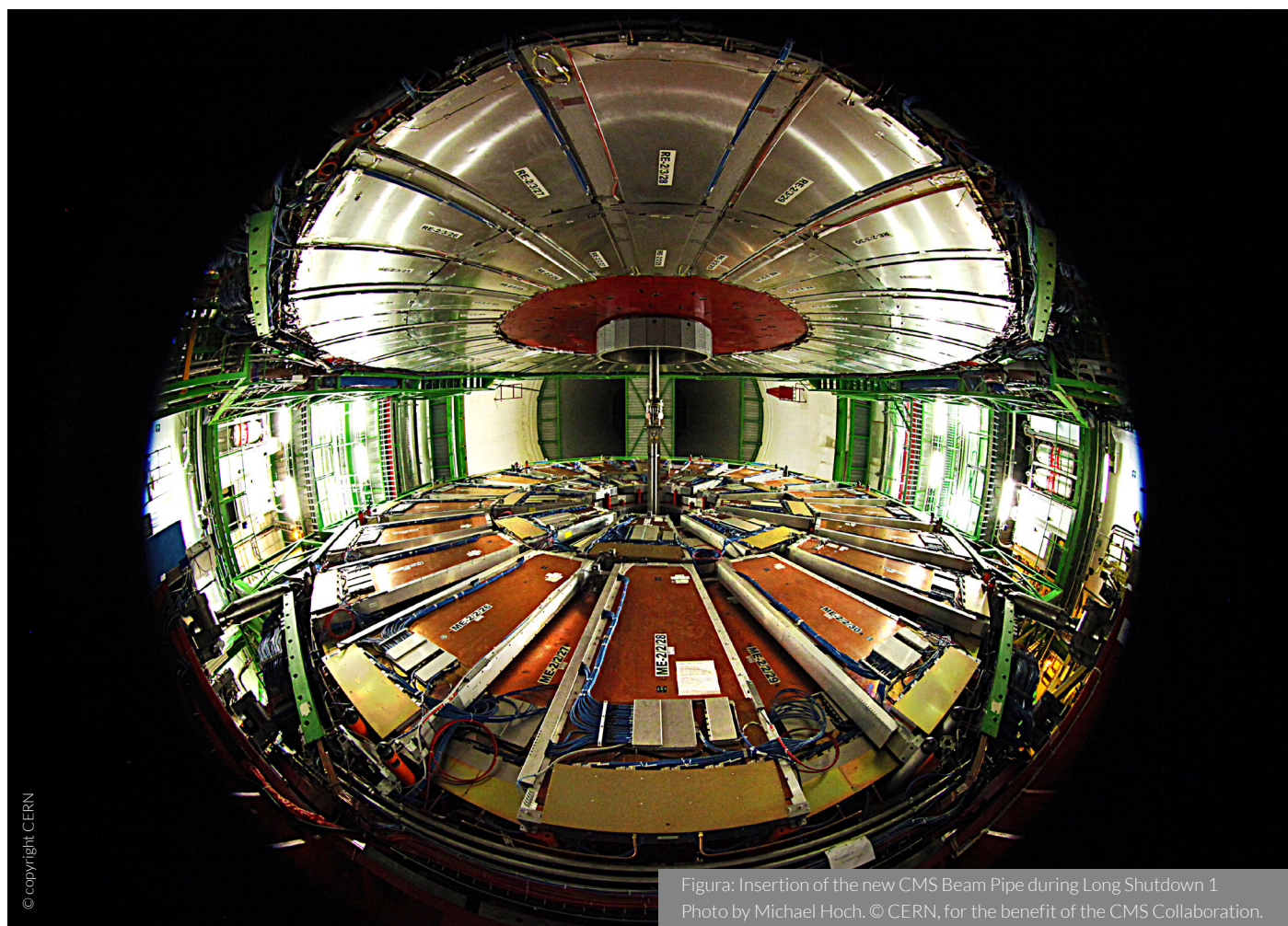


Figura: Insertion of the new CMS Beam Pipe during Long Shutdown 1
Photo by Michael Hoch. © CERN, for the benefit of the CMS Collaboration.

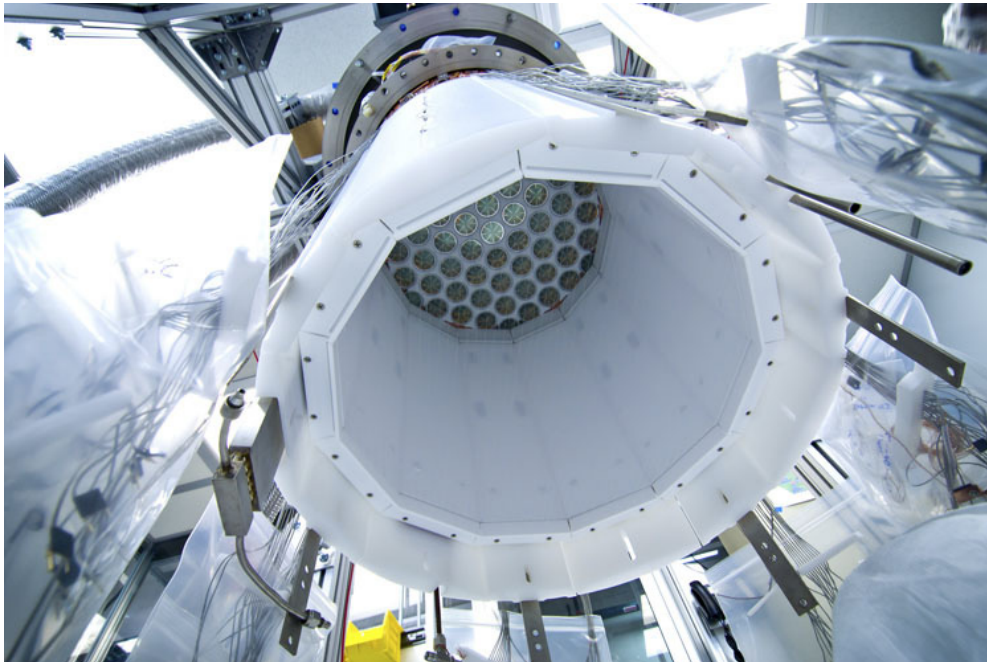
detecção precoce de cancro da mama. Este trabalho foi realizado por um consórcio de instituições nacionais liderado pelo LIP. Embora o equipamento tenha sido inteiramente desenvolvido e construído em Portugal, o factor determinante deste desenvolvimento tecnológico foi certamente o know-how adquirido no CERN. Neste sentido podemos também dizer que a empresa PETsys Electronics criada em 2013 e sediada no Taguspark, que se dedica à produção de detetores para aplicações médicas e outras, é uma start-up do CERN.

O sucesso dos desenvolvimentos científicos e tecnológicos no CERN reflete colaboração científica à escala global com liderança Europeia. O CERN surge-nos como um dos melhores exemplos de sucesso de uma Europa como a desejávamos: aberta e apostada no conhecimento. Consequência direta da adesão de Portugal ao CERN em 1985 e da internacionalização científica do País, a participação nacional no LHC nos últimos vinte anos é um dos casos de sucesso da Ciência em Portugal. A contribuição portuguesa, traduzida em resultados científicos e em posições de liderança a vários níveis das colaborações está acima da média. O LIP foi responsável

pela construção de componentes significativas dos detetores, e tem a enorme responsabilidade de as manter em funcionamento. Alguns dos seus cientistas integraram diretamente as equipas que analisaram os dados e revelaram a existência do bóson de Higgs. Várias indústrias nacionais forneceram componentes e serviços para o LHC e para os seus detetores adquirindo competências e mercados novos. Centenas de jovens engenheiros integrados nos projectos tiveram oportunidades únicas de formação e várias dezenas de novos doutorados em física são hoje capazes de liderar projectos tecnológicos complexos como exigido na indústria moderna. Este factos estão documentados no "Memorando da participação Portuguesa no programa experimental do LHC".

Detetor de matéria escura mais sensível do mundo está ainda melhor

Alexandre Lindote



Graças a um conjunto de técnicas de calibração inovadoras os cientistas da experiência LUX (Large Underground Xenon) conseguiram melhorar ainda mais a sensibilidade do detetor.

A colaboração LUX inclui 19 universidades e laboratórios dos Estados Unidos, Reino Unido e Portugal. A equipa portuguesa, do LIP-Coimbra e Universidade de Coimbra, é composta por 7 pessoas entre estudantes de doutoramento e investigadores.

Membro desta colaboração desde 2010, e já com uma vasta experiência neste tipo de detetores (através da anterior participação na colaboração ZEPLIN), esta equipa deu contribuições fundamentais para a experiência LUX e para este resultado em particular. Foi responsável pela conceção e desenvolvimento do sistema automático que fornece azoto líquido ao detetor e sistemas auxiliares (fundamental para manter o xenon a cerca de -100°C), e pelo sistema automático de controlo de toda a experiência – que monitoriza e controla centenas de sensores.

A experiência LUX, instalada a cerca de 1500 metros de profundidade no Laboratório Subterrâneo Sanford (SURF) na região dos Black Hills do Dakota do Sul (EUA), já era a experiência de matéria escura mais sensível do mundo. Agora, usando um conjunto de técnicas de calibração inovadoras, os cientistas de LUX conseguiram melhorar ainda mais a sensibilidade do detetor. Para além destes sistemas de *hardware*, o LIP teve também um papel crucial na análise de dados do detetor, em particular ao desenvolver um algoritmo computacional que permite determinar a posição de cada interação dentro do detetor, fundamental para se perceber o tipo de interação e distinguir possíveis sinais de matéria escura.

A matéria escura é considerada a forma dominante de matéria no universo. Os cientistas estão confiantes da sua existência devido aos seus efeitos gravíticos, que podem ser observados na rotação

Os investigadores de LUX estão à procura de WIMPs (sigla inglesa para *weakly interacting massive particles*), que estão entre os principais candidatos para explicar a matéria escura. *«É fundamental que continuemos a melhorar as capacidades do nosso detetor na procura das esquivas partículas de matéria escura»,* diz Rick Gaitskell, professor de física na Universidade de Brown e co-porta-voz da experiência LUX. *«Melhorámos a sensibilidade de LUX por um fator de mais de 20 para partículas de matéria escura de baixa massa, aumentando significativamente a nossa capacidade de procurar WIMPs.»*

das galáxias e na forma como a luz é curvada ao viajar pelo universo. No entanto, espera-se que as partículas de matéria escura (WIMPs) só interajam muito raramente com a restante matéria, razão pela qual ainda não foram detetados diretamente.

O detetor LUX consiste em cerca de um terço de tonelada de xenon líquido rodeado de sensores de luz altamente sensíveis. Foi desenhado para identificar as muito raras ocasiões em que uma partícula de matéria escura colide com um átomo de xenon dentro do detetor. No caso de uma interação, o átomo de xenon recua e emite uma pequena quantidade de luz, que é detetada pelos sensores de LUX. A instalação do detetor debaixo de 1500 metros de rocha, ajuda a protegê-lo dos raios cósmicos e radiação ambiente que podem interferir com um sinal da matéria escura.

Até agora, o LUX não detetou um sinal de matéria escura, mas a sua extraordinária sensibilidade permitiu aos cientistas excluir grandes regiões de massa onde estas partículas poderiam existir. Estas novas calibrações permitiram aumentar ainda mais essa sensibilidade.

O planeamento da próxima experiência de procura de matéria escura no laboratório de Sanford já está a decorrer. No final de 2016 o LUX será desmantelado para que seja instalado um novo e muito maior detetor de xenon, conhecido como LUX-ZEPLIN (LZ). Enquanto LUX tem cerca de 370 kg de xenon líquido, LZ terá 10 toneladas, e será instalado dentro do mesmo tanque de água usado por LUX.

«As inovações introduzidas por LUX serão a base da experiência LZ, que foi desenhada para atingir uma sensibilidade 100 vezes maior que LUX. A experiência LZ é tão sensível que deverá detetar um tipo de neutrino solar que nem a experiência que Ray Davis instalou na mina de Homestake, e que lhe valeu o Prémio Nobel da Física, conseguiu detetar», de acordo com Harry Nelson, da Universidade da Califórnia Santa Barbara, porta-voz de LZ.

Novo PET pode detetar doenças neurodegenerativas ainda mais no início devido a resolução espacial submilimétrica

DESTAQUE



Foi recentemente destacado no jornal Público, um projeto desenvolvido no ICNAS que tem a colaboração do LIP.

O novo Tomógrafo por emissão de positrões e eletrões resulta do trabalho de uma equipa multidisciplinar do Instituto de Ciências Nucleares Aplicadas à Saúde (ICNAS) onde colaboram físicos do LIP de Coimbra, Paulo Fonte e Paulo Crespo entre os seniores. Para construir o tomógrafo, foi necessário a tecnologia dos detetores, algoritmos de reconstrução de imagem e algoritmos de processamento de imagem. Um exemplo é um algoritmo criado pela equipa, usado quando o tomógrafo produz imagens de ratinhos para a investigação da doença de Parkinson, onde os neurónios que produzem a dopamina, uma substância importante para o cérebro, vão morrendo este processo quantifica a dopamina que está a ser sintetizada.

Um tomógrafo é um termo genérico para um aparelho que produz imagens tridimensionais do interior de corpos, a partir da soma de imagens de “fatias” desses cortes. Há vários tipos de tomógrafo. O protótipo à nossa frente utiliza moléculas com átomos radioactivos que podem sinalizar objectos específicos importantes para a medicina como tumores, a beta-amiloide — uma proteína que se associa à doença de Alzheimer —, entre outros.

Tem uma resolução de cerca de 0,4 milímetros. No mercado andamos à volta de um milímetro. Esta resolução é possível devido ao uso de Resistive Plate Chambers (RPCs) detetores gasosos, de alta resolução em tempo e posição que têm vindo a ser desenvolvidas por Paulo Fonte.

A resolução de um aparelho representa a sua capacidade em distinguir dois pontos. Um tomógrafo capaz de criar imagens com um milímetro de resolução consegue distinguir pormenores maiores do que um milímetro, um tumor mais pequeno do que um milímetro escapa às máquinas comuns. Se não tivermos uma tecnologia com resolução superior, não identificamos a doença. Este aparelho permite identificar o início das doenças, esta capacidade é especialmente importante para a deteção das doenças neurodegenerativas, como a doença de Alzheimer ou a doença de Parkinson.

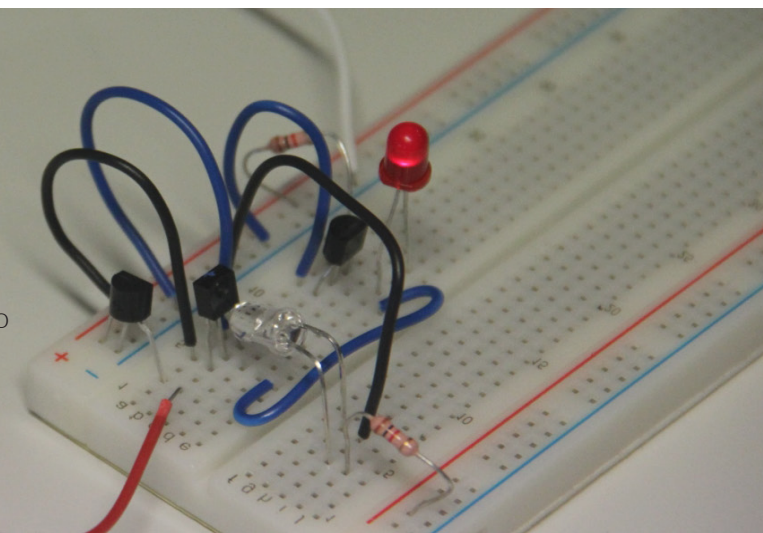
O próximo passo para este projeto é redimensionar o protótipo para humanos só para imagens de cérebro, para tal o ICNAS e o LIP candidataram-se neste Outono a financiamento europeu pelo programa da Comissão Europeia Future & Emerging Technologies, dedicado a projetos novos na área da ciência e tecnologia com um impacto potencial na sociedade.

Se ganharem o financiamento, estarão mais próximos de ter um aparelho que pode ir para o mercado. Um tomógrafo deste tipo custa a um hospital entre 600 mil e um milhão de euros.

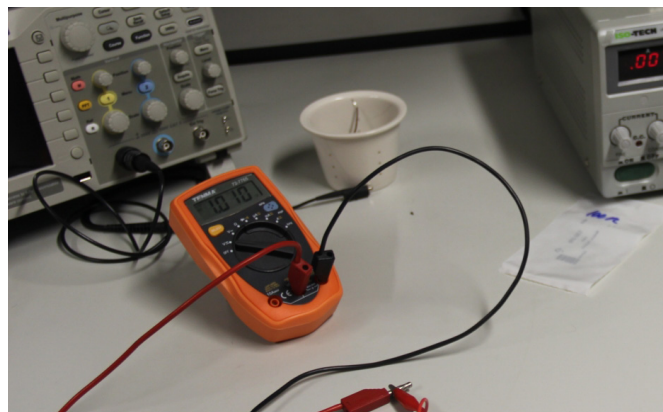
Informação recolhida a partir da entrevista dada por Miguel Castelo-Branco, médico do ICNAS ao jornal Público.

LABLEDs Luis Peralta

Em 2015, "Ano da Luz" foi lançado pelo grupo de Outreach do LIP um novo projeto a que foi chamado LABLEDs. O seu foco principal é a utilização da luz LED, um tema de grande actualidade devido à enorme eficiência energética destes elementos. O projeto tem uma fortíssima componente experimental sendo que a maior parte do material necessário para o seu desenvolvimento é facilmente encontrada no mercado a preços muito módicos (LEDs, resistências, condensadores, etc).

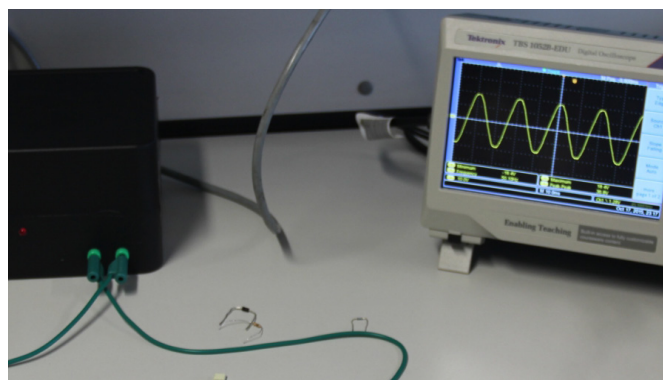


Dado que muito professores do ensino secundário não obtiveram formação específica neste tema durante os seus cursos universitários, o projecto contempla várias acções de formação dirigidas aos participantes. Duas acções de formação tiveram lugar em Lisboa, na Faculdade de Ciências, no mês de Outubro de 2015 nas tardes de sábado, onde foi dada formação básica sobre a física e utilização dos LEDs, ao mesmo tempo que se forneceram pistas para a realização de experiências. No início do projecto foram propostos três grupos de experiências, sendo colocado o desafio do desenvolvimento por parte dos docentes de experiências adicionais, ou variantes das experiências propostas.



As experiências inicialmente propostas e que foram discutidas nas acções de formação foram:

- Funcionamento e das aplicações de Díodos e LEDs
- Iluminação com LEDs
- LED infravermelho e Sensores de obstáculos
- Transmissão de luz LED em lentes coloridas
- Determinação da Constante Planck com LEDs
- Medida do Índice UV com photodiodo e Arduino
- Montagem de um circuito com sensor de IV (detetor de obstáculos) e circuito de alarme (LED acende/apaga)



Masterclasses 2016 – calendário

ver mais em: www.lip.pt/masterclasses

OUTREACH

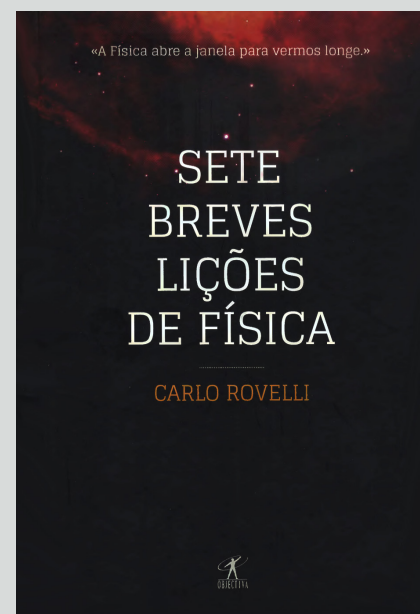
- | | |
|---|--|
| <p>17 Fev
Vila Real, ECTUTAD</p> <p>18 Fev
Bragança, IPB</p> <p>24 Fev
Ponta Delgada, UAçores</p> <p>27 Fev
Beja, IPBeja
Covilhã, UBI
Porto, FCUP</p> <p>05 Mar
São Tomé e Príncipe, ISP-STP
Lisboa, IST
Funchal, UMa
Aveiro, UA</p> | <p>09 Mar
Faro, UALG</p> <p>11 Mar
Braga, ECUM</p> <p>12 Mar
Évora, UE</p> <p>19 Mar
Coimbra, FCTUC
Lisboa, IST
Lisboa, FCUL</p> |
|---|--|

leituras



16 €

Está já disponível, pela SPF, a venda do livro “Histórias da Física em Portugal no Século XX” publicado pela Gradiva.



LIPIANOS

Investigadores do LIP partilham Prémio BreakThrough 2015

José Maneira fez o doutoramento na FCUL na área da Física de neutrinos e começou a trabalhar em SNO em 2002 na Universidade de Queen's, no Canadá. Em 2005 estabeleceu o grupo de física experimental de neutrinos do LIP. Desde 2011, é também Prof. Convidado da FCUL;

Nuno Barros, hoje na Universidade da Pennsylvania, EUA, apresentou em 2012 na Universidade de Lisboa (FCUL) a sua tese de doutoramento realizada no LIP sobre os resultados finais de SNO, em particular a oscilação de neutrinos, agora premiada;

Sofia Andringa trabalhou na experiência de neutrinos e acelerador, K2K, no Institut de Física de Altas Energias da Universidade Autònoma de Barcelona, e integra o grupo de física de neutrinos do LIP, e SNO+, desde 2006;

Gersende Prior trabalhou em SNO, no Lawrence Berkeley National Laboratory, EUA, e está no LIP e em SNO+ desde 2014.

* Arthur B. McDonald, é um colega próximo do LIP, através da participação em SNO+; veio à reunião de colaboração organizada pelo LIP em Lisboa em 2010 e em 2007 para participar numa conferência organizada pelo LIP e universidades portuguesas.



Jorge Miguel Sampaio

O Jorge Miguel Sampaio licenciou-se em Física na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Obteve o mestrado, na mesma faculdade, com uma tese sobre o estudo da reação de captura radiotiva no Li-7 a energias relevantes em astrofísica. De seguida rumou para o reino da Dinamarca onde fez o doutoramento sobre captura eletrónica e reações

de neutrinos nos núcleos atómicos que compõe a matéria estelar durante o processo de colapso de uma supernova.

Após de uma breve passagem pelo departamento de Física da Universidade de Basileia, Suíça, regressou a Portugal, em 2004, como investigador de pós-doutoramento no Centro de Física Nuclear da Universidade de Lisboa e com o vício de andar de bicicleta. Em 2009 tornou-se investigador Ciência 2008, no Centro de Física Atómica da Universidade de Lisboa, onde trabalhou no cálculo da parâmetros fundamentais em Física Atómica e, mais recentemente, no cálculo dos espectros de emissão de Auger em radionuclídeos com relevância para a radioterapia localizada. Foi investigador principal de um projeto de aplicação dos Métodos de Monte Carlo na quantificação em espectrometria por fluorescência de raios-X e tem trabalhado em aplicações à proteção radiológica.

Foi convidado para dar apoio técnico na extinta Comissão Independente para a Proteção Radiológica e Segurança Nuclear e atualmente é assessor para a gestão dos resíduos radioativos da Comissão Reguladora da Segurança das Instalações Nucleares. No LIP integrará o grupo de Estudos de Radiação e Aplicações para Missões no Espaço, estando desde já a co-orientar uma aluna de mestrado do IST sobre os efeitos da radiação em missões tripuladas a Marte e na análise dos dados em experiências a bordo do ALPHASAT.

Daniel Galaviz (ENAPG)

A equipa de investigação liderada por Daniel Galaviz (professor no Departamento de Física, da FCUL) foi recentemente integrada no LIP. A equipa (ENAPG - Experimental Nuclear AstroPhysics Group) trabalha nos domínios da física nuclear experimental, com componentes no estudo de reacções nucleares com feixes radioactivos, investigações relativas à astrofísica nuclear e desenvolvimento de instrumentação para a detecção de partículas ionizantes. O grupo realiza principalmente a sua actividade em instalações europeias de feixes de iões, sendo a colaboração mais relevante na actualidade feita no âmbito de R3B do laboratório GSI/FAIR, na Alemanha.



A fotografia mostra os restantes membros que configuram a equipa: (fila superior, da esquerda para a direita) David Ferreira, Frederico Arez, Paulo Velho, D. G., Patrícia Marques, (fila inferior) André Baptista, Ana Henriques, Pamela Teubig.

TESES Doutoramento



Observation and measurement of the Higgs decays to WW* with ATLAS at the LHC
Joana Miguéns, FCUL, 17 Dez 2015



Study of the longitudinal and transverse cosmic ray shower profiles at the Pierre Auger Observatory

João Espadanal, IST, 02 Julho 2015

Mestrado



Top Quark Flavour Changing Neutral Currents at the LHC

Artur Amorim, FCUP, Dez 2015

2016 WLCG Collaboration Workshop

01 a 03 Fevereiro 2016, Lisboa, Portugal

indico.cern.ch/event/433164

Masterclasses Internacionais 2016

17 Fevereiro a 19 Março 2016

www.lip.pt/masterclasses

Sixth IDPASC School

23 Maio a 1 Junho 2016, Vipava, Eslovenia

www.idpasc.lip.pt/LIP/events/2016_idpasc_school

Escola de Professores no CERN em Língua Portuguesa

Inscrições abertas a partir de Maio 2016, Suíça, CERN

www.lip.pt/cern_em_portugues

Conferência Nacional de Física e Encontro Ibérico para o Ensino da Física

8 a 10 Setembro 2016, Braga, Universidade do Minho

Formação em Linux (para colaboradores do LIP)

19 a 21 Fevereiro 2016, Braga, Universidade do Minho

PARTÍCULAS

do bóson de Higgs à matéria escura

"De que é feito o Universo? Esta é a pergunta a que os físicos de partículas procuram responder, estudando as partículas elementares que compõem tudo quanto existe e a forma como elas interagem entre si. Conhecendo aquilo de que somos feitos, conseguimos também contar a história do Universo, aproximando-nos do momento em que tudo começou.

Para comemorar os seus 30 anos, o LIP convida-o para uma das grandes aventuras da ciência e da tecnologia: uma viagem pelos desafios da física de partículas para as próximas décadas, partindo das mais recentes descobertas em direção ao desconhecido."

É desta forma que o visitante é acolhido na exposição comemorativa dos 30 anos do LIP, que estará patente nas Universidades do Minho, Coimbra e Lisboa durante os primeiros meses de 2016. No início, o visitante é ele próprio "acelerado" em direção à exposição, com uma introdução às partículas e uma viagem pelo mundo dos detetores que nos ajudam a "vê-las". Cada módulo nos apresenta depois um desafio. Os módulos são partículas: quarks e glúons, bóson de Higgs, antimatéria, neutrinos, matéria escura. E falam-nos do que se sabe, do que falta saber, das aplicações. E também do papel do LIP nesta aventura, ao longo dos seus 30 anos de existência, e em direção ao futuro.

Peça central da exposição é o túnel interativo do LHC, produzido pelo MediáLab do CERN. Aqui, os visitantes são convidados a acelerar os prótons com a energia de um pontapé e a conversar sobre os resultados da colisão.

Exposição Comemorativa
dos 30 anos do LIP

www.lip.pt/particulas

Universidade do Minho

Átrio CP2, Campus de Gualtar

17 Fev - 09 Mar

Universidade de Coimbra

Colégio de Jesus, Museu da Ciência, Coimbra

05 - 23 Abril

Universidade de Lisboa

Átrio da Reitoria

02 - 25 Maio

PARTÍCULAS

do bóson de Higgs à matéria escura



FCT

Fundação para a Ciência e a Tecnologia

CIÊNCIA VIVA



U LISBOA

UNIVERSIDADE
DE LISBOA



Universidade do Minho

**TÉCNICO
LISBOA**

ANIMEE
ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DAS EMPRESAS
DO SECTOR ELÉCTRICO E ELECTRÓNICO

**30
anos
LIP**