

# PARTÍCULAS

do bosão de Higgs à matéria escura

30  
anos  
LIP

[FICHA TÉCNICA]

EXPOSIÇÃO DE



COORDENAÇÃO CIENTÍFICA

LIP

COORDENAÇÃO DE PROJETO

**toyno**

CENOGRAFIA E DESIGN

Joana Brígido, Nuno Marcos, Mariana Cardoso, Susana Martins  
e Ana Novais da **toyno**

TEXTOS E CONTEÚDOS

LIP

João Remondes e Leonel Alegre da **toyno**

PRODUÇÃO GERAL



COM O APOIO DE



ASSOCIADOS DO LIP



# PARTÍCULAS

do bosão 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.

## [ O LIP ]

O LIP – Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas – foi criado em maio de 1986 com o objetivo de explorar as oportunidades únicas trazidas pela adesão de Portugal ao CERN, o Laboratório Europeu de Física de Partículas. Tem como missão a investigação no campo da física experimental de partículas e instrumentação associada, facilitando o acesso da comunidade científica portuguesa a instalações e colaborações científicas internacionais. Dedicar-se ainda à computação avançada, à formação de pessoal científico e técnico, e à divulgação da ciência. No âmbito da transferência de conhecimento e tecnologia para a sociedade, exploram-se também novas oportunidades em áreas como a medicina e a sociedade da informação.

### um Laboratório Associado

O LIP é Laboratório Associado da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT) desde 2001 e tem como sócios a FCT, as Universidades de Lisboa, Coimbra e Minho, o Instituto Superior Técnico e a ANIMEE (Associação Portuguesa das Empresas do Sector Elétrico e Eletrónico). Está presente em Lisboa, Coimbra e Braga, numa colaboração muito próxima com as Universidades locais.

O LIP desenvolve a sua investigação em parceria com o CERN e a ESA — Agência Espacial Europeia — e em infraestruturas científicas internacionais, como os observatórios SNOLAB (Canadá) e Pierre Auger (Argentina), laboratórios da NASA e SURF (EUA) e o GSI (Alemanha), e com diversas universidades e centros de investigação nacionais e internacionais. O LIP participa ainda em várias infraestruturas nacionais e internacionais de computação científica distribuída e é sócio da Agência Ciência Viva para o promoção da cultura científica e tecnológica em Portugal.



## ÁREAS DE INVESTIGAÇÃO

Os investigadores do LIP participam em experiências que procuram responder aos grandes desafios atuais da física de partículas. Estudam as propriedades do recém-descoberto bóson de Higgs e procuram novas partículas no LHC, onde recriam as condições que terão existido logo a seguir ao Big Bang. Investigam a natureza da matéria escura, dos neutrinos e dos raios cósmicos de energia extrema. Com este objetivo, participam também no desenvolvimento de novos instrumentos e metodologias que têm aplicações noutros domínios científicos.

A atividade do LIP organiza-se em três grandes áreas:

- Física experimental de partículas em aceleradores e de astropartículas;
- Desenvolvimento de instrumentos e metodologias com aplicações em física de partículas, medicina e exploração espacial;
- Computação avançada: computação GRID, computação em nuvem e computação de alto desempenho.

### o ano passado no LIP

212 membros  
103 investigadores doutorados  
60 estudantes de pós-graduação  
15 teses de Mestrado e Doutoramento  
274 artigos publicados em co-autoria  
89 contribuições em conferências internacionais  
12 encontros internacionais em Portugal  
50 palestras de divulgação científica  
52 professores da CPLP na escola LIP no CERN  
2 000 alunos do Ensino Secundário em masterclasses

## UMA TEORIA DE (QUASE) TUDO

O Universo é um sistema complexo e os físicos de partículas procuram as peças mais pequenas que compõem essa complexidade: as partículas elementares. A teoria mais completa desenvolvida pelos físicos de partículas chama-se Modelo Padrão e explica as bases de (quase) tudo quanto existe no Universo com um número reduzido de partículas que interagem entre si através de quatro forças fundamentais.

O Modelo Padrão resulta do trabalho de muitos cientistas ao longo de décadas. Começou a ser desenvolvido na década de 1960 mas só em 2012 se descobriu uma das suas peças fundamentais: o bóson de Higgs. Apesar de conseguir explicar a maioria das observações experimentais, sabemos que a teoria está incompleta, deixando perguntas importantes por responder.

### perguntas por responder

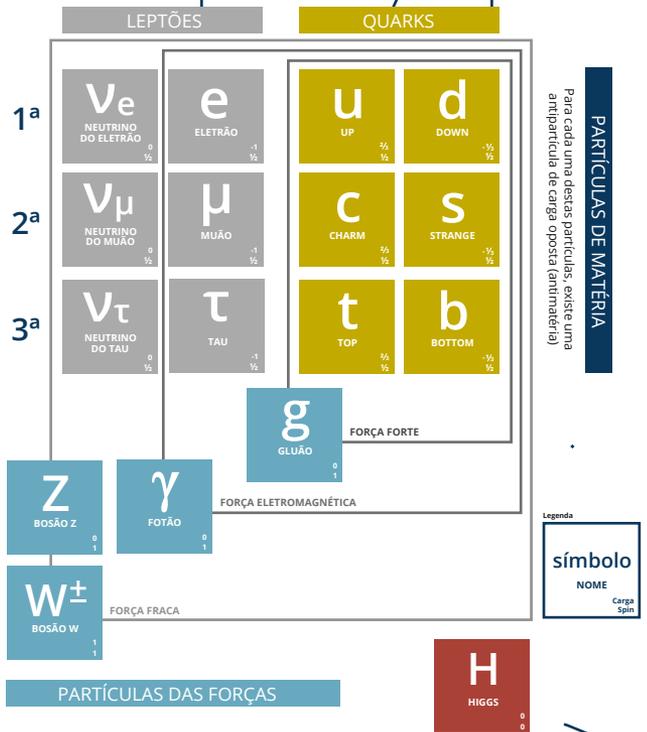
Entre outras coisas, o Modelo Padrão não explica o que é a matéria escura que existe no Universo, nem porque há mais matéria do que antimatéria. Também não consegue explicar a força da gravidade. Este é um dos grandes desafios da física de hoje: encontrar uma teoria unificadora que consiga explicar ao mesmo tempo as interações entre as galáxias e entre as partículas no interior de um átomo.



## A FAMÍLIA DAS PARTÍCULAS

A matéria é formada por leptões e quarks, que se organizam para formar átomos.

Assim como os elementos químicos se organizam na tabela periódica, o Modelo Padrão organiza as partículas fundamentais de acordo com as suas propriedades, como a massa ou a carga elétrica.



### uma geração especial

As partículas de matéria estão divididas em três gerações, mas toda a matéria que nos é familiar é formada apenas por partículas da primeira geração. Os átomos são formados por nuvens de elétrons que orbitam em torno de núcleos de prótons e nêutrons, ambos formados por quarks up e down.

As partículas das restantes gerações são, em geral, mais pesadas e com tempos de vida curtos. Conseguimos produzi-las nos aceleradores a partir da colisão de outras partículas e observamo-las também nos raios cósmicos.

### as forças fundamentais

O Universo é regido por quatro forças fundamentais com intensidades e alcances diferentes, mas o Modelo Padrão deixa de fora a força gravítica. As três forças no Modelo Padrão resultam da troca de bosões (partículas portadoras de força) entre as partículas elementares de matéria:

- a força forte resulta da troca de glúons entre os quarks e entre os próprios glúons;
- a força eletromagnética é transportada por fótons trocados entre partículas carregadas;
- a força fraca é transportada por bosões W e Z, os únicos portadores de força com massa diferente de zero.

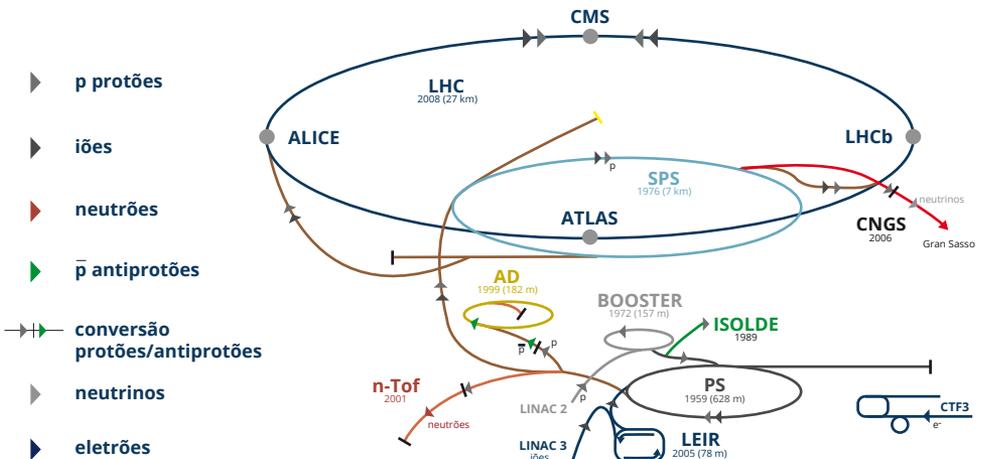
# [ ACELERADORES ]

Um físico experimental de partículas faz novas descobertas fazendo chocar partículas. Mas estas colisões são mais construtivas do que destrutivas. A famosa equação de Einstein ( $E=mc^2$ ) diz-nos que a energia (E) se pode converter em massa (m), e vice-versa. Quando aceleramos partículas a altas velocidades e as fazemos chocar, a sua energia é convertida em novas partículas que podem ter massa superior às iniciais. Vários detetores registam o resultado das colisões e permitem-nos estudar as propriedades das partículas formadas.

## uma fábrica de partículas

Os prótons usados no LHC compram-se em garrafas! Na realidade são garrafas de hidrogénio. As moléculas de hidrogénio passam por uma câmara de ionização que lhes arranca os eletrões. Os núcleos, formados por um único próton, são acelerados em direção ao túnel do LHC.

O LHC recebe prótons e iões pré-acelerados por uma cadeia de aceleradores mais pequenos. Alguns deles foram, no seu tempo, os maiores aceleradores do mundo. As partículas carregadas são aceleradas por campos elétricos e curvadas por campos magnéticos nos aceleradores circulares. Além dos prótons, são produzidos nesta fábrica de partículas feixes de eletrões, muões, neutrões, neutrinos, píões e outros mesões, e também antiprótons e positrões.



## a maior máquina do mundo

O LHC (grande colisionador de hadrões) é a maior máquina do mundo e o maior e mais potente acelerador jamais construído. Situa-se no CERN a 100 m de profundidade e ocupa uma circunferência com 27 km de perímetro que cruza a fronteira entre a França e a Suíça.

No seu interior, dois feixes de partículas (prótons ou íons de chumbo) viajam em sentidos opostos a velocidades próximas da velocidade da luz. Os feixes são curvados por enormes ímãs supercondutores mantidos a  $-271,25^{\circ}\text{C}$ , uma temperatura inferior à do Espaço intergaláctico ( $-270,45^{\circ}\text{C}$ ). As partículas colidem em quatro pontos no interior do acelerador, onde estão instalados quatro enormes detetores: ATLAS, CMS, ALICE e LHCb.

## aceleradores cósmicos

A Terra é constantemente bombardeada por partículas que nos chegam do espaço, os raios cósmicos. Algumas destas partículas têm energias milhões de vezes superiores às dos aceleradores terrestres.

A natureza e modo de funcionamento destes aceleradores cósmicos é ainda misteriosa.

O LIP estuda estes raios cósmicos de energia extrema no Observatório Pierre Auger, na Argentina. Os buracos negros no centro de certas galáxias (como Centaurus A na imagem) são um bom candidato a fonte dos raios cósmicos de energia mais alta.

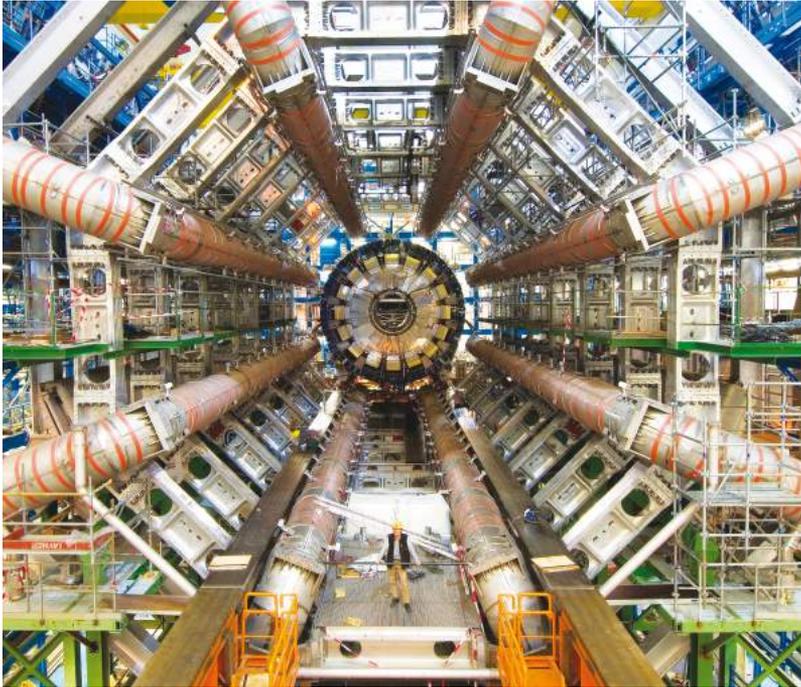


Observatório Pierre Auger



Centaurus A

# [ DETETORES ]



**Detetor ATLAS em fase de construção, LHC**

© CERN, 2005

ATLAS é uma experiência do LHC que estuda colisões de prótons e íons pesados de alta energia. O conjunto de detetores tem 45 metros de comprimento, 25 metros de altura e pesa quase 7 000 toneladas. Tem o tamanho da Torre de Belém e pesa o mesmo que a Torre Eiffel, mas mede as trajetórias das partículas com uma precisão de 0,001 cm.

Os detetores usados nas grandes experiências em aceleradores são como cebolas com várias camadas de subdetetores. Cada um deles é desenhado para registrar propriedades específicas das partículas ou um tipo de partícula em especial.

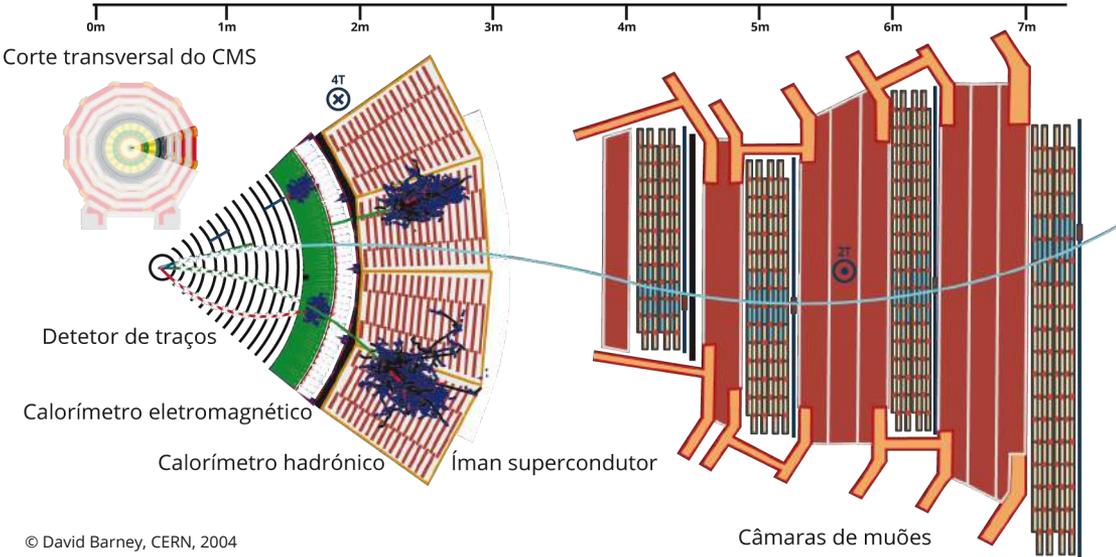
# UMA MÁQUINA FOTOGRÁFICA ESPECIAL

Um detetor é uma espécie de máquina fotográfica complexa que regista a passagem das partículas. Assim como um caçador consegue identificar os animais a partir das suas pegadas, um físico consegue identificar as partículas a partir dos rastros que deixam nos detetores. Existem inúmeros tipos de detetores, que usam diferentes tecnologias e medem diferentes propriedades das partículas. Mas o princípio é sempre o mesmo: para “vermos” uma partícula, ela tem de interagir com o meio que atravessa (o detetor) deixando nele uma parte da sua energia. O desenvolvimento de detetores mais sensíveis foi sempre um dos grandes motores do progresso da física de partículas.

## IDENTIFICAR PARTÍCULAS

O esquema mostra como se distinguem os vários tipos de partículas no detetor CMS do LHC. Do centro para a periferia: partículas sem carga elétrica não deixam rasto nos detetores de posição; eletrões e fótons perdem quase toda a sua energia no primeiro calorímetro por interação eletromagnética; hádrões depositam a sua energia no calorímetro hadrónico; e apenas os muões chegam às camadas exteriores do detetor. O campo magnético curva as partículas carregadas e permite identificar o sinal da sua carga. Neutrinos atravessam o detetor sem serem vistos.

- muão
- eletrão
- hádrão carregado (ex: pião)
- - hádrão neutro (ex: neutrão)
- - fóton



## [ UM SUPER LHC ]

A preparação das experiências do LHC levou mais de duas décadas e envolveu milhares de pessoas. O LIP participou desde o início no desenvolvimento e construção dos detetores e foi fundamental no calorímetro hadrónico de ATLAS (TileCal) e na eletrónica do calorímetro eletromagnético de CMS (ECAL). Os físicos do LIP trabalham hoje no melhoramento destes detetores para as próximas etapas do funcionamento do LHC, com muito mais colisões em cada cruzamento dos feixes.

O desenvolvimento de sistemas de deteção implica também a eletrónica de aquisição e seleção de dados. Num detetor do LHC são lidos centenas de milhões de canais de eletrónica, e o tempo disponível para analisar os resultados de uma colisão e decidir se devem ser guardados é de microssegundos. As necessidades das experiências de física de partículas têm sido um motor para estes desenvolvimentos.

### Um detetor luminoso

© Colaboração ATLAS, CERN, 2001

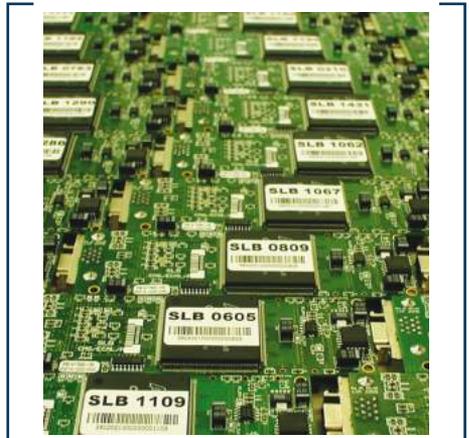


O LIP teve um papel central no desenvolvimento da óptica do calorímetro TileCal de ATLAS: projeto, otimização dos cintiladores e fibras ópticas em colaboração com os fabricantes, desenho do sistema de inserção e condução das fibras. O LIP fez a aluminização, teste e inserção semi-automática das 600 000 fibras ópticas do detetor. Os sinais luminosos gerados nos cintiladores pelos hadrões são conduzidos pelas fibras até aos sensores de luz.

### SLB

© LIP, colaboração CMS/CERN, 2006

O LIP teve um papel fundamental no desenvolvimento da eletrónica para o calorímetro ECAL de CMS, em particular, desenhou o SLB, uma placa de sincronização de alta velocidade, e a placa de aquisição de dados DCC.



## UM MUNDO DE DETETORES

O LIP tem grande experiência em tecnologias chave de detecção de radiação, desenvolvendo detetores com diversas tecnologias de fronteira para variadas aplicações, da física de partículas à medicina e às missões espaciais.

### RPC

As RPCs (do inglês *Resistive Plate Chambers*) são detetores que apresentam uma muito boa resolução temporal e espacial, são simples, robustos e versáteis. São usados, por exemplo, em experiências de aceleradores para determinar o tempo de voo e assinalar uma nova colisão, ou para a identificação de partículas na pesquisa das propriedades dos hádrons no interior da matéria nuclear densa. Também são usados para aplicações ao ar livre na detecção de raios cósmicos pela sua robustez e versatilidade, e em aplicações de imagiologia médica pela sua elevada precisão espacial. O LIP é líder mundial no desenvolvimento de RPCs.



### XÉNON

Os detetores de xénon são outra especialidade do LIP. O xénon é um gás nobre, estável e fácil de purificar, transparente e com elevado número atômico. Os átomos de xénon têm muitos eletrões que podem libertar quando absorvem um fóton energético, originando um pequeno sinal elétrico. Por outro lado, o grande número de prótons e neutrões no núcleo tornam o xénon ideal para detetar as partículas de matéria escura, através de choques com o núcleo de xénon, cujo recuo produz sinais mensuráveis de luz e de carga elétrica.



### PGD

As câmaras de fios, como a que pode ser vista na mesa, constituíram uma revolução na física de partículas, permitindo que milhões de colisões fossem analisadas eletronicamente por computadores em poucos segundos. Em 1988 foi dado o passo seguinte, chegando-se aos detetores gasosos modernos em que, no lugar de fios metálicos finos, se usam elétrodos depositados num substrato, empregando técnicas de fabricação da microelectrónica. São conhecidos como *Patterned Gas Detectors* (PGD) ou, nalguns casos, *Micropattern Gas Detectors*.



# QUARKS E GLUÕES

E isto é apenas a ponta do iceberg?



**Túnel subterrâneo do LHC, CERN**

© Maximilien Brice, CERN, 2005

Os físicos de partículas estudam as propriedades da matéria de que somos feitos fazendo colidir prótons ou íons de chumbo a altas velocidades no interior do LHC, o maior e mais potente acelerador de partículas do mundo.

Para se deslocarem ao longo dos 27 km de comprimento do túnel, os cientistas e técnicos usam diversos meios de transporte.

## DE QUE SÃO FEITAS AS COISAS?

A matéria é feita de moléculas, que são feitas de átomos, que são feitos de elétrons, prótons e nêutrons. Tanto quanto sabemos, os elétrons são indivisíveis, mas os prótons e os nêutrons são feitos de outras partículas elementares: os quarks e glúons. Conhecer as propriedades das partículas elementares e a forma como elas interagem permite-nos conhecer a matéria de que somos feitos. Nas experiências atuais de física de partículas, observamos até 1/10000 do tamanho do próton, estudando os quarks e glúons no seu interior e a forma como interagem pela força forte.

### os hádrões

Na década de 1950, com o desenvolvimento dos aceleradores, apareceram dezenas de novas partículas a que chamamos hádrões. Em 1964 surgiu um modelo que explicava as propriedades dos hádrões assumindo que eram formados por três partículas mais fundamentais, os quarks up, down e strange. Mais tarde, compreendeu-se que existiam outros três quarks, a que se chamou charm, bottom e top. Os hádrões mais conhecidos são os prótons e nêutrons dos núcleos atômicos, que são formados por três quarks. Hoje continuamos a encontrar novos hádrões, alguns muito exóticos, como os pentaquarks, cuja existência foi confirmada em 2015 no LHC.

### o despertar da força forte

Os quarks estão confinados dentro dos hádrões pela força forte. Esta é transportada por 8 tipos de glúons, assim como a força electromagnética é transportada por fótons. Mas em vez da carga elétrica que gera esta força, a força forte é gerada por uma carga a que chamamos cor. Em vez de cargas positivas e negativas temos três cores: vermelho, verde e azul. A força forte tem outra característica especial: à medida que a distância entre dois quarks aumenta, precisamos de cada vez mais energia para os separar. Como se estivessem unidos por uma mola. A certa altura, a mola parte e produzem-se pares quark-antiquark. Por isso nunca vemos quarks isolados. A melhor forma de observar, ainda que indiretamente, um quark ou um glúon é procurar os jatos de hádrões que eles originam quando se afastam uns dos outros.

#### QUARKS

|         |   |   |             |
|---------|---|---|-------------|
| up      |  |  | antiup      |
| down    |  |  | antidown    |
| charm   |  |  | anticharm   |
| strange |  |  | antistrange |
| bottom  |  |  | antibottom  |
| top     |  |  | antitop     |

#### MESÕES



mesão  $\pi^+$

#### BARIÕES



próton

nêutron

## DENTRO DE UM PROTÃO

As propriedades dos quarks e glúons determinam as propriedades dos prótons e nêutrons e, como consequência, dos próprios átomos. Numa visão simplificada, um próton é formado por três quarks de valência (up, up e down).

Mas, observando mais de perto, verificamos que estes três quarks estão imersos num “mar” de muitos pares quark-antiquark e de glúons “virtuais” que existem apenas por instantes, como bolhas em água a ferver.

### às voltas com os quarks

Uma propriedade importante das partículas subatômicas é o spin, que podemos imaginar como a rotação da partícula em torno do seu eixo, como um pião. Ainda não se sabe como os spins individuais dos quarks e glúons contribuem para o spin total de um próton. Sem saber isto não conseguimos compreender totalmente as características dos átomos.

Os investigadores do LIP estudam esta questão na experiência COMPASS do CERN. Para isso, colidem múons ou mesões  $\pi$  com um alvo fixo à temperatura de  $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ , muito próximo do zero absoluto, e observam as partículas que resultam desta colisão. Estas experiências decorrem no SPS (super sincrotrão de prótons), que também funciona como injetor de partículas no LHC.

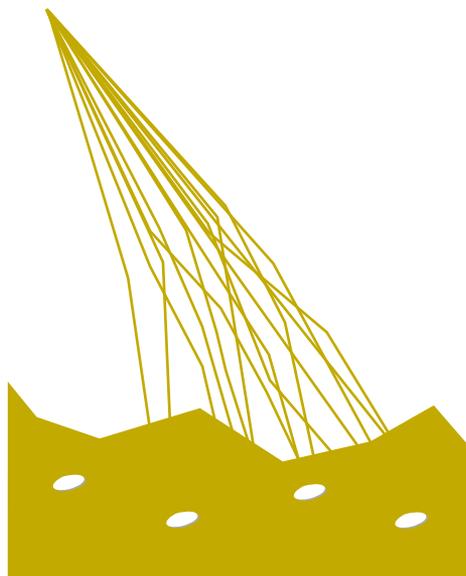
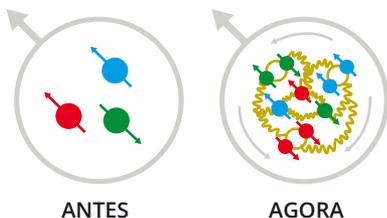
### prótons de alta energia

O nosso planeta é constantemente bombardeado por prótons e núcleos atômicos vindos do Espaço. A maior parte destas partículas têm energias muito baixas. Mas, muito raramente – 1 vez por  $\text{km}^2$  por século! – chegam-nos partículas com energias milhões de vezes superiores às dos aceleradores. Estas partículas chocam com os átomos da atmosfera, produzindo um chuveiro com biliões de novas partículas.

O LIP faz investigação no maior observatório de raios cósmicos de alta energia do mundo, o Observatório Pierre Auger, formado por 1 600 detetores espalhados por uma área de 3 000  $\text{km}^2$  e por 27 telescópios que detetam a luz ultravioleta emitida pelo chuveiro.

### O QUE VAI DENTRO DE UM PROTÃO

Um próton é formado por três quarks de valência imersos num “mar” de muitos quarks, antiquarks e glúons. As interações complexas de todas estas partículas determinam o spin total do próton.



## O PRINCÍPIO DO UNIVERSO

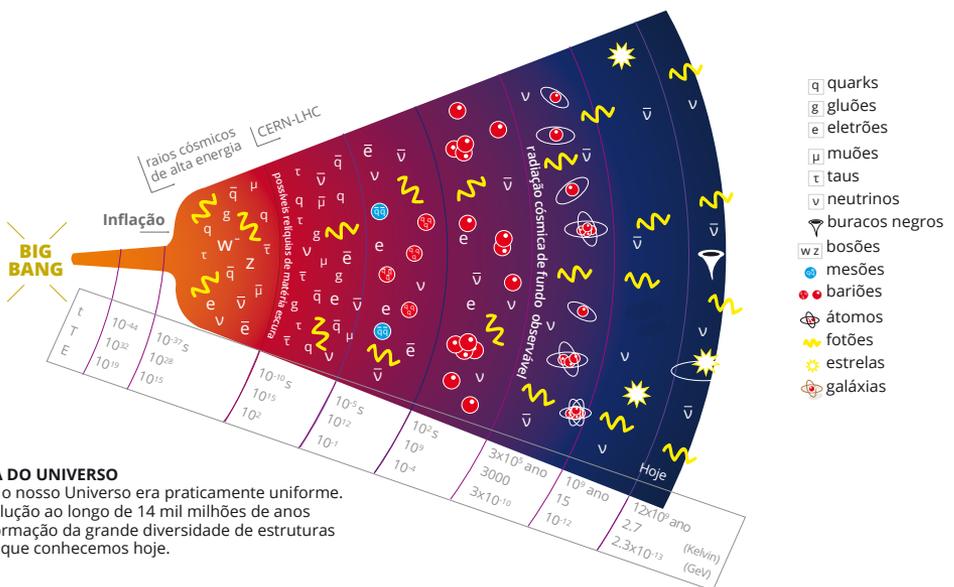
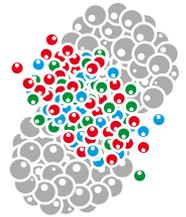
Os quarks e os glúões formados nos primeiros instantes de um Universo quente e denso moviam-se como partículas livres numa sopa, a que chamamos plasma. Um centésimo de milionésimo do segundo após o Big Bang, o Universo expandiu-se e arrefeceu o suficiente para que a força forte unisse os quarks formando hádrons, entre os quais os prótons e os neutrões que nos constituem. Só mais tarde, a muito menor temperatura, aconteceu o mesmo com a força electromagnética, e apareceram os átomos, e daí poeiras, estrelas, e a vida. A radiação lectromagnética (os fotões, que sobraram) observa-se hoje como radiação cósmica de fundo.

Para compreender como passámos de um estado de plasma para a matéria confinada seria preciso viajar no tempo. Como não o podemos fazer, os físicos de partículas reproduzem em laboratório as condições do Universo antes dessa transição.

### Little Bangs

Para reproduzir as condições de elevada energia e densidade que existiram imediatamente após o Big Bang, os investigadores fazem colidir no LHC núcleos de chumbo, cada um com 82 prótons e 126 neutrões, a altas velocidades. Como resultado da colisão forma-se um plasma de quarks e glúões. As propriedades do plasma são estudadas medindo o seu efeito em partículas que o atravessam: jatos de hádrons, e alguns mesões, que "se derretem" a diferentes energias, fornecendo um termómetro do plasma.

O LIP teve uma importante participação na experiência NA50, que decorreu no CERN, e que contribuiu de forma decisiva para a descoberta do plasma de quarks e glúões, e continua a estudar as colisões de iões pesados nas experiências do LHC.



# BOSÃO DE HIGGS

Porquê tanto alarido?



**Peter Higgs em frente do detetor CMS no CERN**

© Maximilien Brice, CERN, 2008

CMS é um dos dois detetores do LHC onde se comprovou experimentalmente a existência de um bóson de Higgs. É como uma cebola cilíndrica com várias camadas de detetores que registam as propriedades de diferentes partículas, permitindo criar uma imagem da colisão. Quando esta fotografia foi tirada, em 2008, o bóson de Higgs era apenas uma suposição teórica.

## NOTÍCIA DE PRIMEIRA PÁGINA

Em 2012, uma partícula subatômica desconhecida até então fazia as primeiras páginas dos jornais. Porquê tanto alarido? O mecanismo que origina o bóson de Higgs foi proposto pelos físicos Peter Higgs, François Englert e Robert Brout, entre outros, para ultrapassar uma importante limitação do Modelo Padrão. Sem este bóson, nenhuma das partículas elementares poderia ter massa e o mundo não podia ser como é. Num mundo de partículas sem massa não poderia haver átomos, por exemplo.

O bóson de Higgs foi uma das principais razões por que construímos o LHC. Em 2012, quase meio século depois de ter sido pensado, o bóson de Higgs foi finalmente descoberto e o Modelo Padrão foi mais uma vez verificado. Em 2013, Higgs e Englert ganharam o prêmio Nobel pelo trabalho que explica a massa das partículas elementares e que tem por consequência a existência deste bóson.

### A ORIGEM DA MASSA

© David J. Miller, UCL, 1993

Imagine que o Universo e o campo de Higgs são como uma sala (o Universo) cheia de físicos à conversa (o campo de Higgs).



### o mecanismo de Higgs

De acordo com o Modelo Padrão, as forças fraca e eletromagnética começaram por ser uma só – a força eletrofraca – transportada por bósons sem massa e com um alcance infinito. Mas hoje em dia só verificamos isto para a força eletromagnética. Pouco depois do Big Bang, ocorreu uma quebra espontânea de simetria do vácuo que criou o bóson de Higgs. Esta quebra de simetria dá massa aos bósons W e Z, portadores da força fraca, o que explica o curto alcance dessa força. Todas as outras partículas elementares ganham massa se interagirem com o campo de Higgs, que preenche todo o vácuo.

Todos os físicos vão querer falar com ele, criando uma resistência ao seu movimento. Essa resistência manifesta-se como a massa que Einstein ganha, tal como uma partícula que atravessa o campo de Higgs.



Para compreender como uma partícula elementar ganha massa ao interagir com o campo de Higgs, imagine que um Einstein sem massa decide atravessar a sala.



## ONDE ESTÁ O HIGGS?

Nas colisões de prótons no LHC formam-se ocasionalmente bósons de Higgs que imediatamente se desintegram noutras partículas. Em alguns casos muito raros, o decaimento do bóson de Higgs origina um par de fótons que é identificado pelos detetores ATLAS e CMS. Os investigadores têm de fazer muitas colisões até que os resultados sejam estatisticamente significativos e se distingam de outras formas de produzir pares de fótons. Em 2012, fizeram-se 8 000 biliões de colisões no LHC, que produziram 800 000 bósons de Higgs, dos quais apenas 4 000 puderam ser usados na descoberta.

O LIP teve um papel importante na construção de componentes cruciais das experiências ATLAS e CMS, e participou diretamente nas análises de dados que levaram à descoberta do bóson de Higgs. Atualmente, investigadores do LIP estudam diferentes processos de decaimento do bóson de Higgs para compreender em detalhe as suas propriedades.

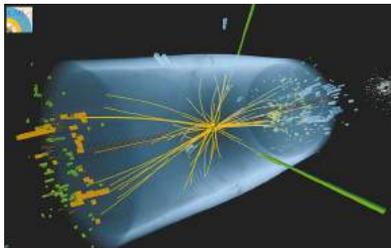
### a descoberta do Higgs em números

- No LHC os prótons viajam a 99,9999991% da velocidade da luz no vazio
- Um único próton tem a energia cinética de um mosquito em voo, mas a energia total de um feixe de prótons corresponde à de um TGV de 200 m de comprimento a viajar a 150 km/h
- Os prótons no LHC passam a fronteira franco-suíça 44 000 vezes por segundo
- O custo total da construção do LHC foi cerca de 3 500 milhões de euros. Um porta aviões de classe G. R. Ford custa 10 000 milhões

### Evento registado no detetor CMS em que pode ter sido produzido um bóson de Higgs.

© Colaboração CMS, CERN, 2012

A imagem mostra um par de fótons, representados pelas linhas amarelas tracejadas e pelas barras verdes, que é compatível com o decaimento de um bóson de Higgs.



### Evento que pode ter tido origem no decaimento de um bóson de Higgs, observado no detetor ATLAS

© Colaboração ATLAS, CERN, 2012

A imagem mostra, em duas projeções, os trajetos de partículas que podem ter resultado do decaimento de um bóson de Higgs para dois bósons W. Estes, por sua vez, decaem para um eletrão, um múon e dois neutrinos. O traço azul é um múon e a barra vermelha grande representa a energia de um eletrão. O detetor não regista a energia dos neutrinos. Esta energia em falta é representada pela linha a tracejado do lado direito.

# UMA NOVA FÍSICA?

E agora que descobrimos o Higgs, está tudo feito? Não, pelo contrário. O bóson de Higgs é tão fundamental, que tem implicações profundas na própria estabilidade do Universo! Por isso, os cientistas querem conhecer com detalhe as propriedades do Higgs.

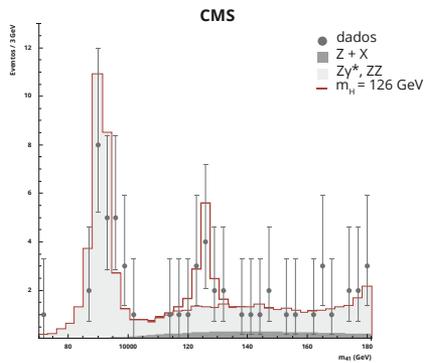
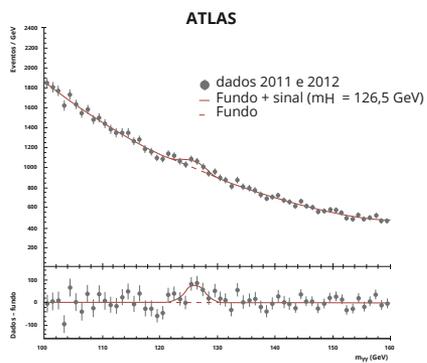
O LHC pode ainda abrir (ou fechar) portas a novas teorias. A Supersimetria, por exemplo, é uma teoria mais abrangente do que o Modelo Padrão, que poderia resolver o problema da matéria escura, mas que ainda não teve verificação experimental. Esta teoria prevê pelo menos 5 bósons de Higgs mas até agora observámos apenas um, como previa o Modelo Padrão. Se descobirmos outros bósons de Higgs (ou outras novas partículas!), abrem-se as portas a uma nova física.

## Universo na corda bamba

O quark top é a partícula elementar mais pesada que conhecemos, pelo que tem uma interação muito forte com o campo de Higgs. Há suspeitas de que possa ter um papel importante, embora ainda desconhecido, na quebra espontânea de simetria da força eletrofraca. De acordo com o Modelo Padrão, as massas do bóson de Higgs e do quark top permitem-nos aferir a estabilidade do Universo. As massas do bóson de Higgs e do quark top medidas experimentalmente colocam o Universo próximo de um estado metaestável. Isto significa que o Universo, tal como o conhecemos, poderá deixar de existir subitamente, embora o mais provável seja que isso não aconteça nos próximos milhões de milhões de anos.

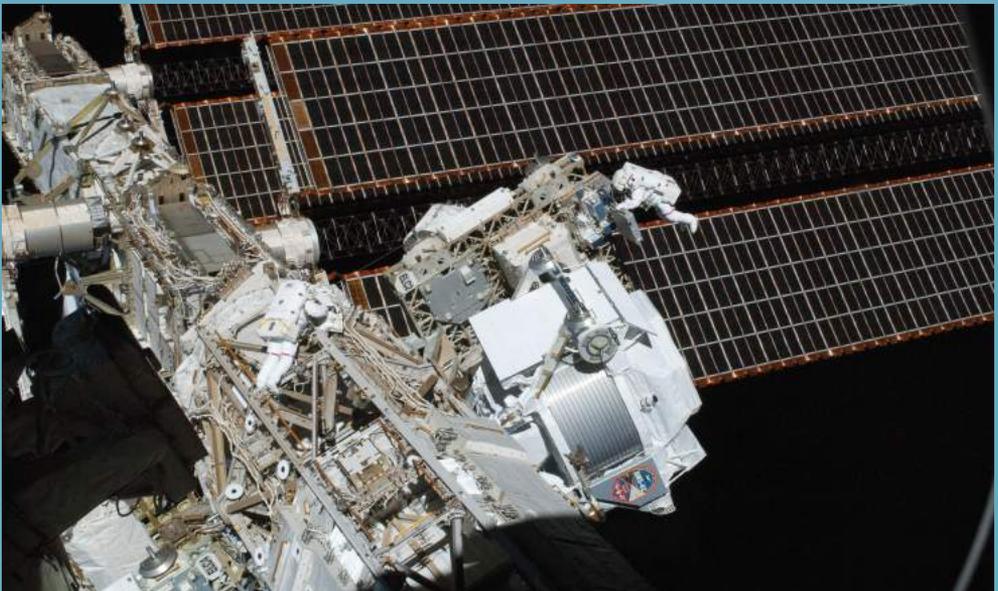
## FINALMENTE A DESCOBERTA!

Dados das experiências ATLAS e CMS anunciados no dia 4 de julho de 2012 na sua forma ainda preliminar. As pequenas "barrigas" a vermelho indicam a presença do bóson de Higgs. A probabilidade de ser apenas ruído de fundo era mais baixa do que 1 em 3 milhões. Foi a descoberta!



# ANTIMATÉRIA

Devemos estar preocupados?



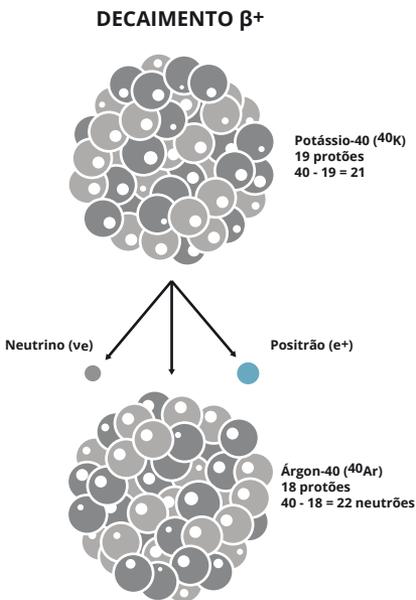
## **Detetor AMS na Estação Espacial Internacional**

© Ron Garan (astronauta), NASA, 2011

O AMS é um detetor de partículas que funciona na Estação Espacial Internacional. Tira partido das condições únicas do Espaço para procurar antimatéria e matéria escura, enquanto faz medições precisas da composição dos raios cósmicos. O AMS é operado por uma equipa internacional de 56 laboratórios de 16 países, entre os quais o LIP.

## NÃO É NADA DO OUTRO MUNDO!

Para cada tipo de partícula de matéria existe uma antipartícula semelhante mas com todas as cargas opostas: por exemplo o elétron (de carga elétrica negativa) tem como antipartícula o pósitron (de carga positiva); os antiquarks têm anticores. As antipartículas são a coisa mais natural do mundo. Resultam do decaimento de materiais radioativos ou de colisões dos raios cósmicos com a atmosfera terrestre. No entanto, as antipartículas aniquilam-se assim que encontram a partícula correspondente na matéria, produzindo tipicamente dois fótons. Quando fazemos colisões no LHC, forma-se sempre igual número de partículas e antipartículas, por isso é provável que no início do Universo se tenha formado a mesma quantidade de matéria e antimatéria. Então, como é possível que não se tenham aniquilado totalmente?



### antipartículas particulares

Uma pessoa com 80 kg emite 180 pósitrons por hora devido ao decaimento natural, mas raro, de um isótopo de potássio que existe no nosso organismo. Um carregamento de 80 kg de bananas ricas em potássio emite 5 vezes mais pósitrons.

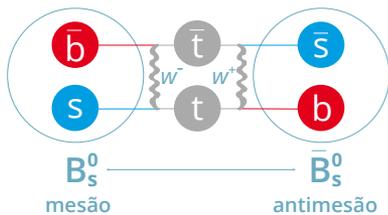
### não há energias negativas

Em 1928, o físico Paul Dirac chegou a uma equação que tinha duas soluções possíveis e uma delas implicava a existência de energias negativas. Para um físico, a energia é a capacidade de fazer coisas, logo não pode ser negativa. Para resolver esta questão, Dirac propôs a existência de antipartículas com cargas opostas às partículas normais. Mas nunca ninguém tinha visto uma. Poucos anos depois, observando raios cósmicos num detector imerso num campo magnético, Anderson encontrou um "elétron" que curvava para o lado errado: o pósitron era observado pela primeira vez!

## UM UNIVERSO ASSIMÉTRICO

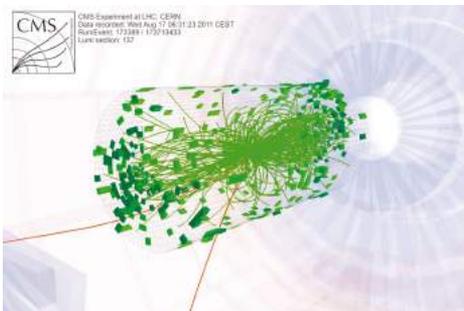
Tanto quanto sabemos, poderia haver antigaláxias e antiestrelas feitas de antipartículas. Ao olhar para elas não veríamos qualquer diferença em relação às galáxias normais, porque matéria e antimatéria interagem da mesma forma com a luz. No entanto, os raios cósmicos trazem do Espaço muito mais partículas do que antipartículas e nunca observamos antinúcleos de antiátomos pesados. Para além disso, não vemos sinais de grandes aniquilações de matéria e antimatéria, o que nos faz pensar que todo o Universo é feito de matéria. Os físicos de partículas querem saber que fenómeno favoreceu a matéria logo após o Big Bang, permitindo a formação das estrelas e galáxias.

### 2 EM 1: PARTÍCULA E ANTIPARTÍCULA NUMA SÓ



### oscilações matéria / antimatéria

Os investigadores do LIP estudam em detalhe o mesão  $B^0$ , uma partícula com propriedades muito interessantes, e que pode também ajudar a resolver o mistério da assimetria. Este mesão é formado por um quark strange ( $s$ ) e um antiquark bottom ( $\bar{b}$ ) e oscila entre a forma mesão e antimesão a uma velocidade estonteante de 3 biliões de vezes por segundo. São partículas instáveis: vivem em média uma bilionésima parte do segundo. Analisando o seu decaimento para partículas de carga oposta verificamos uma assimetria nas taxas de decaimento da partícula ( $B^0$ ) e antipartícula ( $\bar{B}^0$ ). No entanto, a magnitude deste fenómeno não é suficiente, por si só, para explicar a predominância da matéria sobre a antimatéria no Universo observável. Continuamos a procurar quebras de simetria semelhantes em hadrões mais raros e também nos neutrinos.



### Evento registado em CMS consistente com o decaimento de um mesão $B^0$

© Colaboração CMS/CERN, 2013

Em casos extremamente raros (cerca de 3 vezes em mil milhões), o mesão  $B^0$  decai para um par muão-antimuão, representado pelas linhas vermelhas. Como as duas partículas têm cargas contrárias, são desviadas pelo campo magnético do detetor em sentidos opostos. Este decaimento raro só foi descoberto em 2013, por duas experiências do LHC (CMS e LHCb).

## CRIAR ANTIMATÉRIA EM LABORATÓRIO

A chave da preferência do Universo pela matéria em relação à antimatéria poderá não estar ao nível das partículas elementares. Serão os antiátomos instáveis? Para responder a esta questão, os investigadores criam antiprotões e antieletrões fazendo colidir prótons com um alvo, e depois desaceleram-nos para formar antiátomos de hidrogénio. Estes antiátomos são estáveis e, até agora, não se encontraram diferenças de comportamento em relação aos átomos normais, mas os estudos continuam. Apesar da sua estabilidade, os antiátomos têm que ser mantidos em vácuo para evitar que se aniquilem em contacto com a matéria. O antiátomo que sobreviveu durante mais tempo durou 17 minutos, mas a maioria deles dura muito menos tempo.

### à procura de partículas no Espaço

O AMS (Alpha Magnetic Spectrometer) é um detetor de partículas complexo que está instalado na Estação Espacial Internacional, em órbita à volta da Terra. Este detetor consegue identificar as partículas dos raios cósmicos antes de estas interagirem com os átomos da atmosfera terrestre. O LIP participa neste projeto desde o seu início, tendo contribuído para a construção do sub-detetor RICH e para o desenvolvimento dos algoritmos que permitem calcular a energia, velocidade e carga das partículas.

### Selfie tirada por um astronauta na Estação Espacial Internacional, junto ao AMS.

© NASA, 2012

O astronauta tira uma fotografia ao seu reflexo no espelho: uma espécie de “antiastronauta” que parece absolutamente simétrico em relação ao original. Mas, se observarmos com atenção, vemos que não é.



### VIOLAÇÃO DE SIMETRIA

Observe como muda a imagem de Escher quando:

1 - a transformamos no seu reflexo ao espelho e

2 - transformamos as cores nos seus negativos.

Com as duas operações, voltamos à imagem inicial?

Observando com atenção, verá que há pequenas diferenças. Houve uma quebra de simetria. De mesma forma, a transformação de um méson em antiméson, e vice-versa, também não é totalmente simétrica, ao contrário do que acontece com a maior parte dos processos na física de partículas.

REFLEXO

NEGATIVO

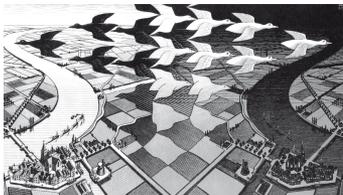


imagem 1

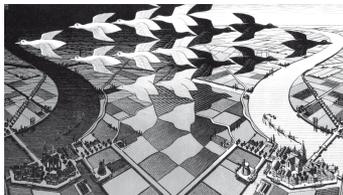


imagem 2

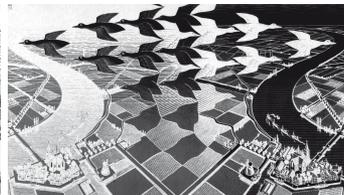
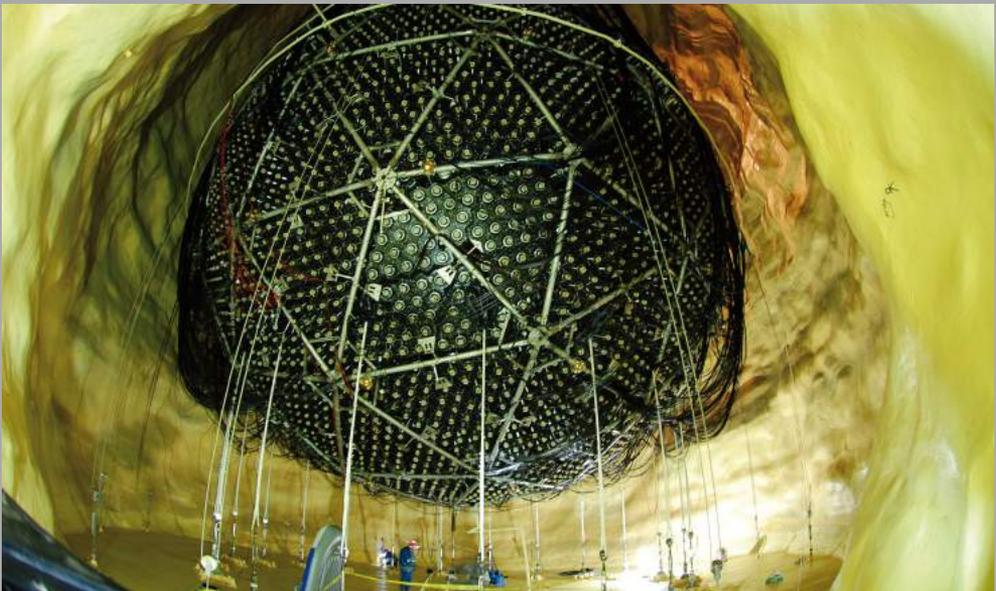


imagem 3

# NEUTRINOS

Porque andamos atrás deles se não querem nada connosco?



SNO (Sudbury Solar Neutrino Observatory), Canadá

© Colaboração SNO+, SNOLAB, Canadá, 2015

SNO é um observatório de neutrinos a 2 km de profundidade no Canadá. Uma esfera de acrílico com 12 m de diâmetro e cinco centímetros de espessura está rodeada por 9500 sensores de luz. No interior, neutrinos vindos do Sol interagem com água pesada e com sal. Os três tipos de neutrinos participam nestas reações, por isso SNO foi a única experiência que verificou diretamente a transformação de neutrinos do elétron nos outros dois sabores. Os investigadores do LIP fizeram análise dos dados e a calibração do detetor. A estrutura está a ser adaptada para uma nova experiência SNO+, substituindo a água por um líquido cintilador.

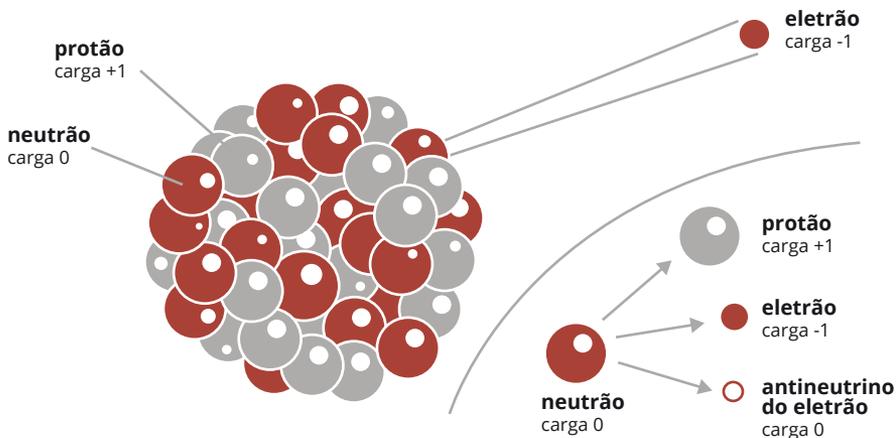
# [ O QUE SÃO OS NEUTRINOS? ]

Os neutrinos são a segunda partícula mais abundante do Universo, logo a seguir aos fótons. Estão constantemente a ser produzidos em reações nucleares que acontecem no interior das estrelas. Na Terra, alguns materiais radioativos também produzem neutrinos. Os neutrinos praticamente não interagem com a matéria e, por isso, são extremamente difíceis de detetar. Podem facilmente atravessar a Terra e as estrelas sem ser perturbados, trazendo informação importante sobre o Universo.

## um remédio desesperado!

Em certos átomos radioativos, um neutrão transforma-se espontaneamente num próton e num eletrão. Quando os cientistas estudaram estas reações ficaram intrigados porque a soma das energias do átomo final e do eletrão não correspondia à energia do átomo inicial. Como não se podia perder energia pelo caminho, o físico Wolfgang Pauli propôs, em 1930, que se formaria uma terceira partícula de carga neutra que não estávamos a ver e que levava parte da energia consigo: o neutrino. Era “um remédio desesperado” para explicar os resultados, que se veio a provar verdadeiro 26 anos depois.

## DECAIMENTO $\beta$



## O MISTÉRIO DOS NEUTRINOS DESAPARECIDOS

O Sol, como as outras estrelas, produz energia no seu interior, convertendo átomos de hidrogénio em átomos mais pesados de hélio. Nestas reações formam-se neutrinos e liberta-se uma grande quantidade de energia, que milhares de anos mais tarde chega à superfície do Sol e à Terra sob a forma de luz. Quando, em 1968, fizemos as primeiras experiências para contar os neutrinos que chegam do Sol, eles eram apenas um terço do esperado! Isto significava que ou sabíamos menos sobre o Sol do que pensávamos ou sabíamos muito pouco sobre o comportamento dos neutrinos. Havia ainda outra hipótese: estaria o Sol a apagar-se?

Este mistério só foi resolvido em 2002. Afinal, o Sol está de boa saúde e emite o número de neutrinos que esperávamos. Simplesmente, o comportamento dos neutrinos não era o que prevíamos.

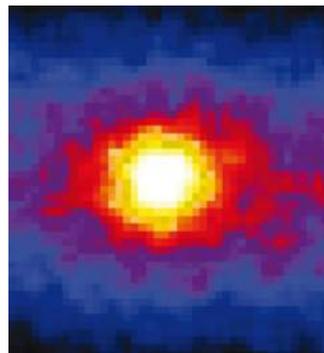
### um caso de múltipla personalidade

Existem três tipos ou sabores de neutrino: o neutrino do eletrão, o neutrino do muão e o neutrino do tau. O Sol produz apenas neutrinos do eletrão. Mas os neutrinos que vêm do Sol alternam entre os três sabores enquanto viajam e alguns chegam à Terra na forma de neutrinos do muão e do tau, muito mais difíceis de detetar. Assim se explicam os neutrinos desaparecidos.

O mesmo fenómeno foi também observado em neutrinos produzidos pela colisão de raios cósmicos com a atmosfera terrestre. A descoberta da oscilação de neutrinos valeu o prémio Nobel a Takaaki Kajita e Arthur B. McDonald em 2015, respetivamente das experiências Super-Kamiokande e SNO.

### trabalho de equipa

Normalmente, o trabalho de física experimental de partículas envolve grandes equipas internacionais. Uma descoberta raramente é de uma pessoa só. Por isso, o Prémio Breakthrough em Física Fundamental 2016 distinguiu os investigadores das cinco experiências que resultaram na descoberta da oscilação de neutrinos - 1377 no total, dos quais quatro são investigadores do LIP.



**"Neutrinografia" do Sol**

© R. Svoboda, K. Gordan, Colaboração Super-Kamiokande, 2006

Uma espécie de fotografia do interior do Sol tirada com neutrinos após 503 dias e noites de exposição no detetor Super-Kamiokande.

## DESAFIOS PARA O FUTURO

O Modelo Padrão, a teoria mais abrangente de física de partículas, assume que os neutrinos não têm massa e viajam à velocidade da luz, tal como os fótons. A descoberta da oscilação de neutrinos vem provar indiretamente que eles têm massa e que o Modelo está incompleto.

Estimamos que o neutrino do elétron seja pelo menos um milhão de vezes mais leve do que o elétron, mas ainda não conhecemos a sua massa exata. Este é um novo desafio para os investigadores, importante também para conhecer a massa total do Universo.

### um novo distúrbio de personalidade?

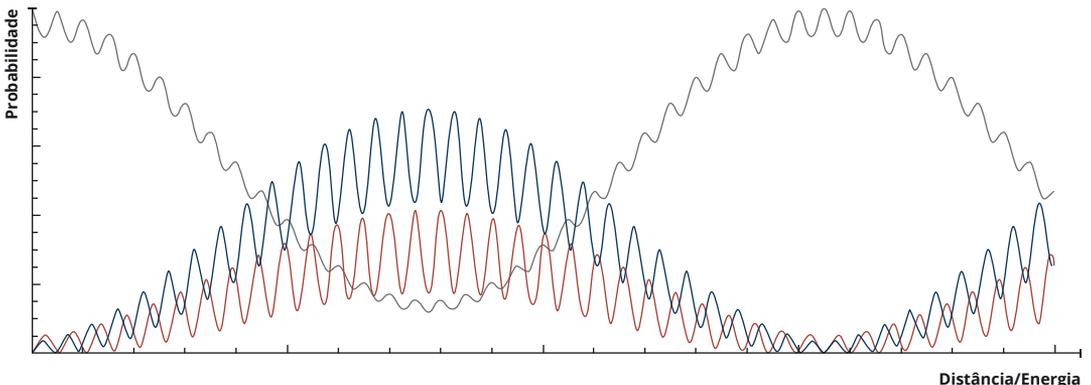
Os investigadores suspeitam que o neutrino possa ter outro comportamento bizarro. Como todas as partículas, ao neutrino corresponde um antineutrino. No entanto, como ambos têm carga elétrica nula, é possível que sejam a mesma partícula. Se isto for verdade, o neutrino pode ajudar-nos a explicar porque há mais matéria do que antimatéria no Universo. O observatório SNO está atualmente a transformar-se no SNO+, uma experiência que pretende responder a esta questão.

### o relógio interno dos neutrinos

A oscilação de neutrinos diz-nos que eles têm um género de relógio interno que, em vez de soar tic-tac, soa elétron-muão-tau. Se os neutrinos viajassem à velocidade da luz, não poderiam ter um relógio a funcionar, porque a essa velocidade o tempo para. Assim, a oscilação indica-nos que os neutrinos não viajam à velocidade da luz, logo têm uma massa que atrasa o seu movimento.

### OSCILAÇÃO DE NEUTRINOS

Um neutrino do elétron transforma-se numa combinação dos três tipos de neutrino à medida que se afasta do ponto de produção



# MATÉRIA ESCURA

O que há para além do que vemos?



**Grande Nebulosa de Carina**

© ESO, 2009

Para que o movimento real das galáxias corresponda ao previsto pelas leis de Newton, elas teriam de ter muito mais massa do que aquela que conseguimos observar. Isto diz-nos que uma grande parte das galáxias é feita de matéria invisível. Esta matéria escura exerce uma enorme força gravítica sobre as galáxias, mantendo-as coesas.

## UM INGREDIENTE SECRETO

Quando observamos o movimento de aglomerados de galáxias vizinhas, percebemos que estes têm de ter muito mais massa do que conseguimos observar para que o seu movimento corresponda ao previsto pelas leis de Newton. Em 1933, o astrofísico Fritz Zwicky sugeriu a existência de uma grande quantidade de matéria invisível em redor das galáxias que exerce uma enorme força gravítica sobre elas. É a matéria escura, sem a qual não se formariam as estruturas de larga escala que vemos no Universo.

Apesar de não conseguirmos ver a matéria escura, conseguimos ver os efeitos da sua interação gravítica à escala macroscópica. Mas isto diz-nos muito pouco sobre as suas propriedades microscópicas. Como se relacionam as duas escalas? Qual é afinal este ingrediente secreto?

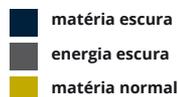
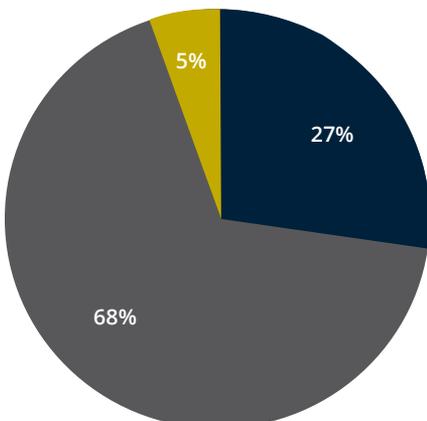
### o que a matéria escura não é

Não sabemos o que a matéria escura é, mas temos uma ideia do que não é:

- ◆ Não são nuvens de poeira escura feita de matéria normal, caso contrário, veríamos a radiação ser absorvida pelas nuvens ao atravessá-las
- ◆ Não é antimatéria, porque senão veríamos o resultado da aniquilação com a matéria normal
- ◆ Não são buracos negros, porque estes estão bem localizados no espaço, enquanto a matéria escura está dispersa

### COMPOSIÇÃO DO UNIVERSO

O modelo cosmológico mais recente estima que a matéria escura contribui com 27% da densidade de energia total do Universo, cinco vezes mais do que a matéria normal, formada por partículas do Modelo Padrão.



## ATRAVessar A Matéria Escura

Temos fortes indícios de que a matéria escura é formada por partículas que interagem muito pouco com a matéria e com a luz. Um pouco como os neutrinos, mas com massas muito mais elevadas.

Uma das formas de as procurar é esperar que a Terra atravesse a matéria escura e que detectores subterrâneos super-sensíveis identifiquem interações muito raras entre partículas de matéria escura e partículas de matéria normal. Mas ainda não observamos candidatos credíveis! Um dos suspeitos mais procurados é conhecido por WIMP (*weakly interacting massive particle*, ou partícula pesada que interage fracamente).

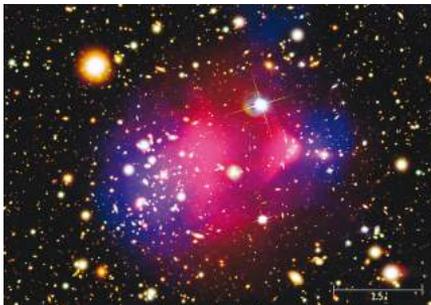
### onde está o WIMP?

O LIP trabalha hoje na preparação da experiência LZ (LUX-ZEPLIN), que será o detector de matéria escura mais sensível do mundo. Espera-se que LZ consiga identificar os recuos de núcleos de xénon atingidos por WIMPs. O detector terá sensibilidade suficiente para medir pela primeira vez os pequenos recuos dos núcleos atingidos por neutrinos. O detector LZ usa simultaneamente xénon líquido e xénon gasoso, obtendo duas assinaturas da passagem de matéria escura, o que permite distingui-la do ruído de fundo.

### Pormenor da montagem do detector LUX

© Carlos, H. Faham, Colaboração LUX, 2013

O LIP tem uma longa história no desenho e operação de detectores de xénon líquido e gasoso e participou já nas experiências ZEPLIN e LUX, que agora dão origem a LZ, um detector de matéria escura da nova geração.



### Imagem do aglomerado de galáxias 1E 0657-56 conhecido como "bullet cluster"

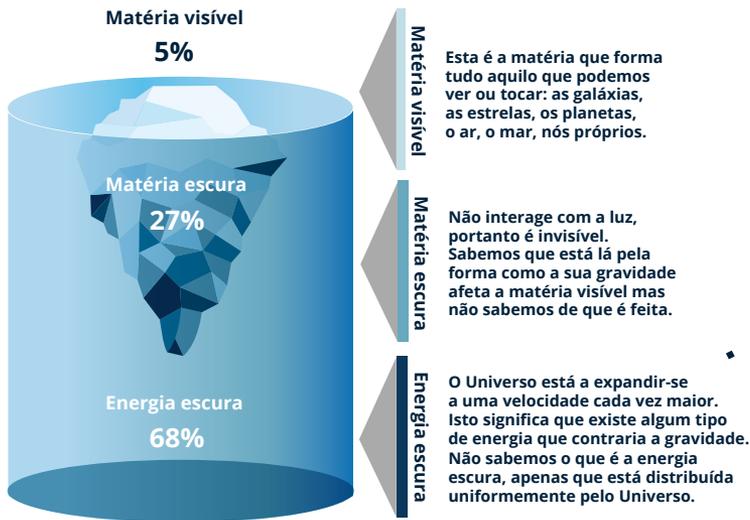
© Raios X: NASA/CXC/CfA/ M.Markevitch et al.; Mapa de lentes: NASA/STScI; ESO WFI; Magellan/U.Arizona/ D.Clowe et al.; Óptico: NASA/STScI; Magellan/U.Arizona/D.Clowe et al., 2006

A força gravítica exercida pela matéria escura é tão forte que curva os raios de luz, como numa lente, alterando a posição aparente das galáxias de fundo. Com base neste efeito óptico, conseguimos mapear a matéria escura, representada na imagem pelas manchas azuis. As manchas cor-de-rosa representam nuvens de raios X libertadas durante a colisão de dois aglomerados de galáxias.

## EFEITOS SECUNDÁRIOS

Muitas teorias preveem que as partículas de matéria escura se aniquilem, deixando um rasto de raios gama, antimatéria e neutrinos. Esperaríamos que zonas com grande densidade de matéria escura, como algumas galáxias vizinhas ou mesmo o centro da Via Láctea, emitissem maiores quantidades destas partículas.

Os investigadores procuram os efeitos secundários da existência da matéria escura nas partículas que nos chegam do cosmos. Procuram-se raios gama com telescópios na Terra ou detetores em satélites, antimatéria com AMS na Estação Espacial Internacional, e neutrinos em grandes detetores como o Super-Kamiokande no Japão e o gigantesco IceCube, que ocupa 1 km<sup>3</sup> do gelo do Polo Sul.



### produzir matéria escura

Até agora não observámos bons candidatos a partículas de matéria escura no LHC. É possível que mesmo um acelerador tão potente como este não tenha energia suficiente para as produzir. Ou que seja simplesmente muito difícil produzi-las a partir de prótons porque interagem pouco com eles. No entanto, os investigadores estão atentos à criação no LHC de partículas que sejam estranhas ao Modelo Padrão e que possam explicar a matéria escura. As experiências realizadas para encontrar a matéria escura já a têm encurralada e com pouco espaço para se esconder. Os investigadores estão confiantes de que brevemente encontrarão uma partícula de matéria escura, o que terá consequências profundas para a cosmologia, astrofísica e física de partículas. O LIP participa em experiências de ponta nas várias frentes de busca e prepara-se para mergulhar na zona submersa e desconhecida do *iceberg*.

## [ PARA QUE É QUE ISTO SERVE? ]

O conhecimento científico tem várias motivações. Por vezes, é a necessidade de resolver um problema que afeta diretamente a vida das pessoas, como a cura para uma doença. Outras vezes, é a necessidade que o ser humano tem de compreender o mundo à sua volta. Chama-se a isto ciência fundamental.

O estudo dos neutrinos permite-nos compreender a história do Universo, as reações que ocorrem no interior do Sol e sem as quais não existiria vida na Terra, ou saber mais sobre o misterioso interior do nosso planeta. Muitas vezes, o conhecimento resultante da investigação fundamental e a tecnologia criada para o seu desenvolvimento têm aplicações práticas no futuro que não eram previstas inicialmente. Por exemplo, quando Einstein pensou na Teoria da Relatividade, não imaginou que um dia ela seria essencial para a localização por GPS. E nunca teríamos desenvolvido a lâmpada elétrica ao tentar aperfeiçoar uma vela.

## UM DESAFIO À COMPUTAÇÃO

No LHC, há protões a colidir 800 milhões de vezes por segundo em 4 detetores. São precisos algoritmos complexos para selecionar estas colisões em tempo real, guardando apenas 25 em cada milhão. Isto corresponde a uma produção incrível de 5 gigabytes de dados por segundo, que são armazenados e colocados à disposição dos investigadores. A simulação, processamento, armazenamento, partilha, e análise de dados do LHC levou ao desenvolvimento de novas tecnologias de computação, das quais resultou a Worldwide LHC Computing Grid (WLCG), a maior infraestrutura de computação científica distribuída jamais construída. O LIP tem sido pioneiro na introdução destas tecnologias para o cálculo científico em Portugal, tendo participado na criação da INCD - Infraestrutura Nacional de Computação Distribuída, que integra a WLCG. Através do LIP, Portugal participa também nas infraestruturas internacionais de computação IBERGRID e EGI.

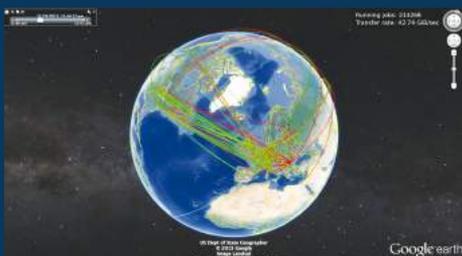
### uma colaboração à escala global

A Worldwide LHC Computing Grid em números:

- ◆ 42 países
- ◆ 170 centros de computação
- ◆ 45 milhões de trabalhos por mês
- ◆ 1,7 mil milhões de horas de utilização de CPU por ano
- ◆ 141 petabytes de dados gerados anualmente

### world wide web

A comunidade de física de partículas colabora à escala mundial. A World Wide Web (www) nasceu em 1989 no CERN com o objetivo de tornar mais fácil a partilha de informação entre os investigadores.



### Transferência de dados na Worldwide LHC Computing Grid

© WLCG, Google, Google Earth, 2013

Data: 28/11/2013

Horário: 11:40 - 11:51

Trabalhos a correr: 214 268

Taxa de transferência: 42,54 gigabytes por segundo

## A FÍSICA DE PARTÍCULAS FAZ BEM À SAÚDE

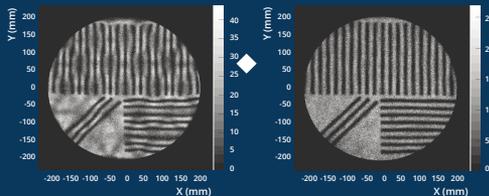
Desde a descoberta dos raios X que as partículas são utilizadas em medicina. Hoje, usam-se aceleradores e detetores de partículas para observar o interior do corpo humano e também para fazer tratamentos. Estas aplicações requerem colaborações verdadeiramente multidisciplinares, combinando competências de físicos, médicos, radiologistas, engenheiros e programadores.

### do Higgs e da matéria escura ao hospital

Muitas das aplicações hospitalares desenvolvidas com a colaboração do LIP partem de tecnologias e métodos das experiências de física de partículas. Algoritmos computacionais que foram desenvolvidos no LIP para procurar sinais da matéria escura no Universo estão a ser adaptados para melhorar a calibração de câmaras gama usadas, por exemplo, em exames de cardiologia para visualizar o fluxo de sangue no coração. Com este processo podem-se reduzir os custos de operação dos hospitais, melhorando a qualidade dos exames.

### Dr. Jekyll e Mr. Hyde

Se a radiação é útil para observar o interior do corpo é porque interage connosco, podendo também destruir células e tecidos. Investigadores do LIP têm desenvolvido dosímetros que medem a quantidade de radiação a que os pacientes estão sujeitos em exames clínicos. Esta monitorização é essencial para proteger o paciente de sobre-exposição devida a exames repetidos ou a falhas no equipamento.



### ALGORITMOS DE CALIBRAÇÃO AUTOMÁTICA

Imagem de uma câmara gama usada em medicina nuclear e em exames de tomografia SPECT. A imagem da esquerda é de uma câmara descalibrada e a da direita foi obtida após calibração automática com um algoritmo desenvolvido no LIP.

### Terapia com hadrões

A hadroterapia é uma forma de tratamento de tumores que utiliza prótons ou outros hadrões em vez dos convencionais raios X ou gama. A vantagem é que, ajustando a energia dos hadrões, é possível fazer com que eles parem exatamente no tecido doente e depositem aí a maior parte da sua energia, e muito pouca no trajeto. Esta tecnologia permite tratamentos mais eficazes, reduzindo os danos nos tecidos saudáveis.

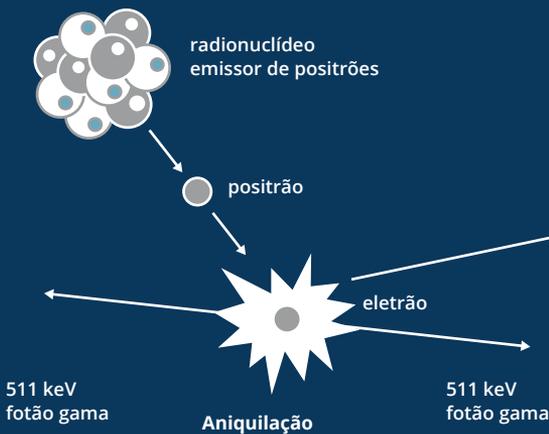
## VER COM ANTIMATÉRIA

- ◆ A tomografia por emissão de pósitrons, ou PET, é uma técnica de diagnóstico médico extremamente sensível, que tira partido da antimatéria. Um marcador com uma substância radioativa é injetado no organismo do paciente, libertando pósitrons por decaimento radioativo na zona a estudar. Quando os pósitrons encontram eletrões das moléculas vizinhas, aniquilam-se, libertando dois fótons gama muito energéticos em direções opostas. Estes fótons são identificados por um anel de detetores, permitindo criar imagens detalhadas do interior do organismo e monitorizar processos dinâmicos. Os detetores, a eletrónica e os algoritmos de reconstrução de imagem utilizados por esta técnica são os mesmos que os físicos de partículas desenvolvem para as suas experiências nos aceleradores. Por exemplo, no LIP desenvolveram-se já protótipos de sistemas PET baseados em detetores RPC usados em muitas experiências. Outro exemplo é o ClearPEM, um sistema PET dedicado à mamografia que utiliza cristais cintiladores semelhantes aos do detetor CMS. O LIP lidera o consórcio que desenvolveu o ClearPEM e está na origem da PETSys, spin-off criado para explorar esta tecnologia.

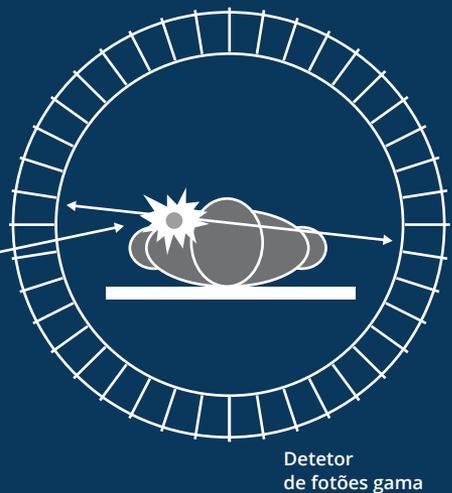
### PET

A tomografia por emissão de pósitrons permite criar imagens do interior do organismo a partir da radiação emitida pela aniquilação de pósitrons e eletrões.

### Emissão de pósitrons e aniquilação pósitron-eletrão



### Scanner de PET



## [ A PREPARAR A VIAGEM ]

Um dos maiores riscos da exploração espacial e da eventual colonização de planetas como Marte ou a Lua é a radiação a que estamos sujeitos fora da Terra. Longe do nosso planeta e da ação protetora da sua atmosfera e magnetosfera, tornamo-nos vulneráveis às partículas energéticas que chegam do Sol e de outras estrelas da nossa galáxia.

A física de partículas é fundamental para conhecer o ambiente de radiação no Espaço e compreender os seus efeitos nas tripulações e nos equipamentos eletrónicos. O LIP colabora com a ESA e outras organizações científicas nestas áreas, em particular no desenvolvimento de modelos detalhados de ambientes de radiação planetários, e na conceção de detetores de radiação. Estes modelos e detetores são imprescindíveis no planeamento de missões espaciais, como a próxima grande missão da ESA, a viagem às luas geladas de Júpiter.



A viagem proposta nesta exposição "Partículas: do bóson de Higgs à matéria escura" e resumida neste pequeno livro vai continuar nas muitas experiências a conceber e a realizar nas próximas décadas. Através dos estudantes, técnicos e investigadores do LIP, Portugal tem estado presente nesta aventura. Alguns de vós, que por aqui passaram, serão seguramente os protagonistas dos desafios futuros!

[www.lip.pt](http://www.lip.pt)

© 2016