

# O bosão de Higgs e os fótons sem massa

Como a partícula que dá massa a todas as outras se viu pela primeira vez com fótons que não têm massa

André David

CERN

O provérbio popular diz que “candeia que vai à frente alumia duas vezes” e assim é com a investigação fundamental em física das partículas.

Ao explorar as fronteiras do conhecimento, a investigação fundamental descobre fenómenos e propriedades novos que abrem o caminho para invenções e tecnologias que acabam a popular o nosso quotidiano.

No CERN, perto de Genebra, procuram-se respostas a questões fundamentais sobre a natureza do Universo, entre elas, “o que é a matéria escura?,” “porque têm as partículas massa?,” ou “porque é que há mais matéria do que anti-matéria?”.

No CERN, fruto da necessidade de responder a tais perguntas, inventou-se a *world wide web*, criaram-se tecnologias de vácuo que permitem a construção de painéis solares

mais eficientes, e constroem-se detectores de fótons cuja utilização permite detectar o cancro da mama mais cedo e com mais precisão.

Mas o CERN não é um centro de investigação aplicada.

Para responder às questões fundamentais utilizamos enormes aceleradores de partículas (Fig. 1), como o LHC, um anel subterrâneo com 27 km de perímetro, onde colidimos centenas de biliões de prótons, quarenta milhões de vezes por segundo, durante mais de metade do ano.

Nessas colisões, recriamos condições em tudo semelhantes às que existiam no Universo quando tinha apenas milionésimos de segundo de idade, excepto que nas nossas colisões usamos muito menos matéria.

As televisões de outrora – aquelas grandes, pesadas e que demoravam tempo a aquecer (Fig. 2) – eram autênticos aceleradores de partículas e experiências como os do CERN.

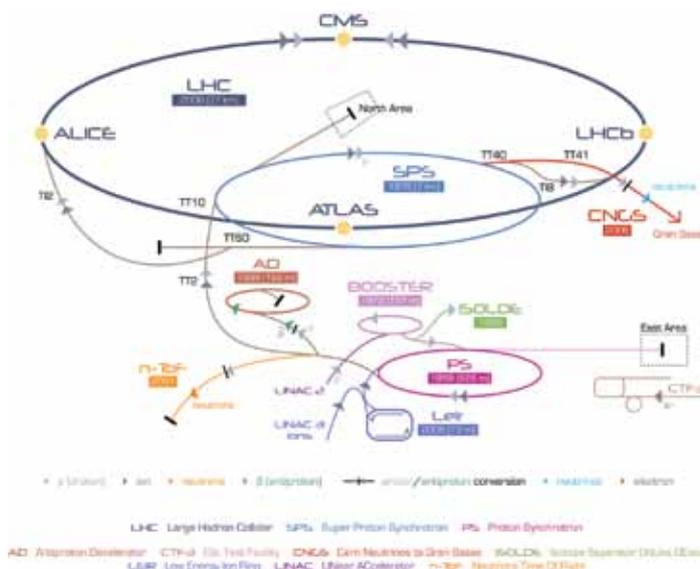


Fig. 1 - O complexo de aceleradores do CERN, assim como as principais experiências. Antes de chegarem ao LHC, feixes de prótons são acelerados pelo LINAC2, BOOSTER, PS, e SPS. Como numa caixa de mudanças de um carro, cada estágio de aceleração é feito num acelerador otimizado para o intervalo de energias envolvidas.

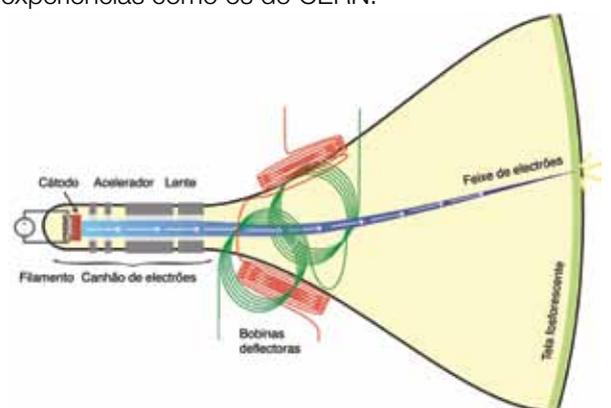


Fig. 2 - As televisões de outrora eram em tudo semelhantes a experiências de física de partículas com aceleradores: um feixe de electrões é criado, acelerado e focalizado na parte esquerda. Esse feixe é depois apontado para o ecrã à direita. Ao colidir com este, os electrões interagem com o fósforo do ecrã.

Nessas televisões, um feixe de electrões é produzido, acelerado, focalizado e interage ao colidir com o fósforo do ecrã.

Como resultado dessas colisões produzem-se muitos fotões.

Alguns desses fotões propagam-se então pelo ar, passam pelo humor vítreo dos nossos olhos, e depositam a sua energia na células da retina.

Essa energia traduz-se num sinal eléctrico que se propaga no nosso cérebro, que por sua vez reconstrói uma imagem e, finalmente, nós pensamos que vimos alguma coisa.

As experiências no CERN funcionam de forma em tudo semelhante, com duas excepções.

Em primeiro lugar, os nossos olhos evoluíram de forma a detectar fotões na gama do visível e apenas e só fotões.

Por sua vez, os detectores do LHC foram construídos de forma a detectar fotões com energias biliões de vezes maiores, superiores às energias dos raios x, e têm diversos tipos de “olhos” de forma a também conseguir “ver” muões, electrões, e outras partículas carregadas (piões, protões, etc.) e neutras (neutrões, etc.). Diversos exemplos são mostrados na Fig. 3.

Em segundo lugar, dado um intervalo muito alargado de energias e tipos de partículas que se detectam no LHC, há um outro passo que é muito mais complexo do que ver televisão: a reconstrução da cena.

Quando vemos com os nossos olhos, o nosso cérebro interpreta o que se passa com base no vê: que objecto está onde, que partes são contíguas, o que está à frente ou atrás, etc.

No LHC, a informação que os detectores produzem tem que passar por um processo semelhante de depuração e reconstrução, de forma a se poder “ver” o que aconteceu na colisão entre os protões.

O resultado desse processo de reconstrução são as energias e direcções dos diferentes tipos de partículas resultantes da colisão, algo semelhante aos objectos que reconhecemos quando vemos com os nossos olhos.

Munidos de uma lista de “objectos,” podemos então analisar a cena em questão e interpretar o resultado da colisão: da mesma forma que uma longa fila de carros nos leva a pensar em “engarrafamento,” ou secretárias e ecrãs de computador nos faz pensar em “escritório,” no LHC um par de muões com certas energias faz-nos pensar em “bosão Z”, etc.

A descoberta do LHC em 2012, foi o resultado da análise dos dados dessas colisões, que permitiram encontrar um bosão de Higgs, o primeiro bosão de Higgs, talvez o único bosão de Higgs.

E para se chegar à presença do bosão de Higgs foram precisos 50 anos de aturado trabalho teórico e experimental.

A desesperada e atribulada procura por esta partícula percebe-se pelo papel central que tem na nossa compreensão da matéria.

O bosão de Higgs é um alfinete de ama da teoria padrão em física de partículas: sem ele, não teríamos uma explicação para as massas que medimos nas outras partículas elementares que conhecemos e a teoria desabararia como um castelo de cartas.

O bosão de Higgs, nada mais que uma previsão teórica durante quase 50 anos, explica como as outras partículas elementares podem ter as massas que medimos, e – ironicamente – foi descoberto com a ajuda de fotões, que de massa não têm nenhuma.

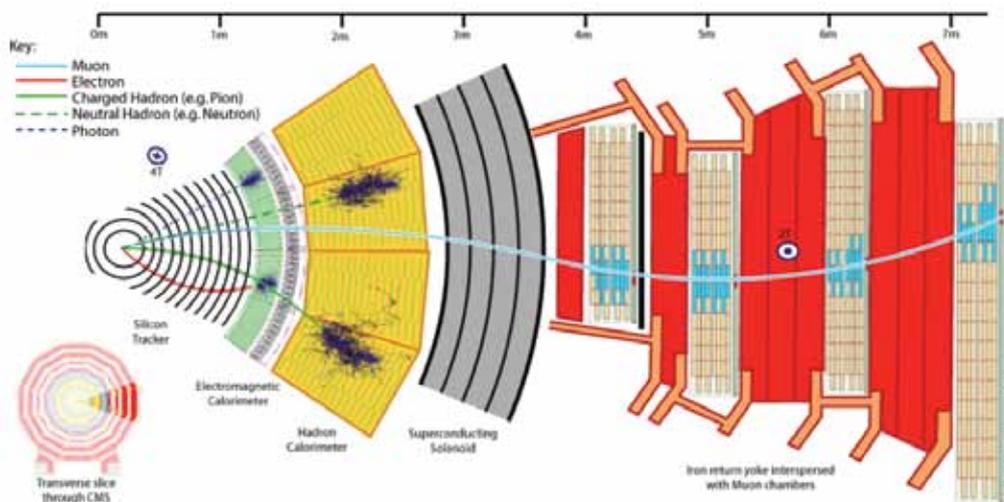


Fig. 3 - Os vários sistemas que detectam partículas na experiência CMS, uma das duas maiores experiências do LHC. O detector de CMS tem várias camadas, especializadas na detecção de diferentes tipos de partículas; do ponto onde se dão as colisões até ao exterior do detector, temos, da esquerda para a direita: o traçador de silício que detecta partículas electricamente carregadas, seguido do calorímetro electromagnético (verde) que detecta fotões e electrões, seguido do calorímetro hadrónico (amarelo) que detecta protões, neutrões e outras partículas compostas de *quarks*. A meio, encontra-se a bobina supercondutora do electroimã de CMS que cria um campo magnético dez mil mais intenso que o da Terra. Finalmente, a parte externa da experiência é dedicada à medida de muões em câmaras de fios (azul) colocadas entre partes de ferro (vermelho) que fecham as linhas de campo magnético.

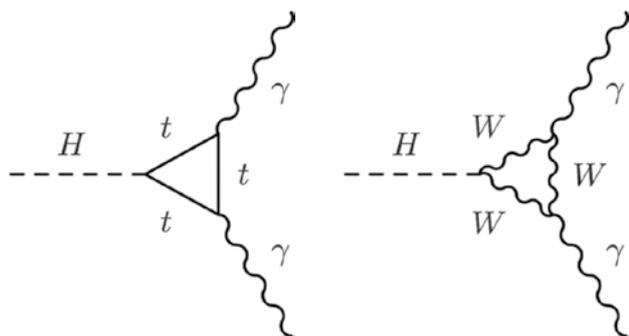


Fig. 4 - Em mecânica quântica, tudo o que pode acontecer, acontece, mas com probabilidades diferentes. O decaimento do bóson de Higgs do modelo padrão em dois fótons não pode acontecer directamente dado o fóton não ter massa. No entanto, o decaimento é possível graças à mediação feita por partículas virtuais como *quarks* top (esquerda) ou bosões W (direita). Se bem que não seja possível destrinçar estas duas contribuições, o resultado da sua possibilidade traduz-se na previsão do decaimento do bóson de Higgs do modelo padrão em dois fótons.

Como podem então os fótons sem massa interagir com o bóson de Higgs?

A resposta requer um pouco de mecânica quântica e partículas virtuais.

Uma das características marcantes das teorias quânticas é a previsão de que partículas virtuais podem mediar interações entre partículas reais (estáveis e que se podem medir directamente).

Por exemplo, a teoria padrão prevê que o bóson de Higgs decaia em dois fótons, mesmo que o bóson de Higgs não “fale” directamente com os fótons, visto que o bóson de Higgs apenas “fala” com partículas que tenham massa.

O decaimento acontece então através de “intermediários,” como *quarks* top ou bosões W, ambos virtuais, dado que não os vemos nos nossos detectores (Fig. 4).

Obviamente há um preço a pagar pelo envolvimento de intermediários virtuais nesta “transação,” razão pela qual o decaimento em dois fótons é muito mais raro que outros decaimentos do bóson de Higgs.

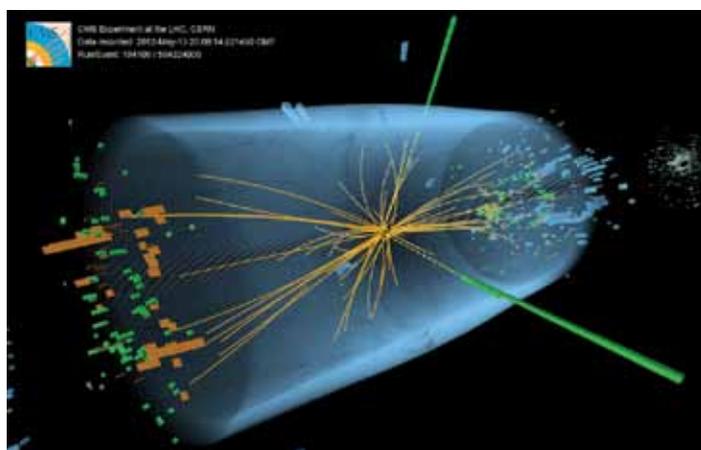


Fig. 5 - Resultado das colisões de prótons em CMS. No detector, podem observar-se diversos tipos de objectos, sendo os mais proeminentes dois fótons de alta energia que aparecem como paralelepípedos verdes. Este par de fótons pode ter sido produzido na desintegração de um bóson de Higgs.

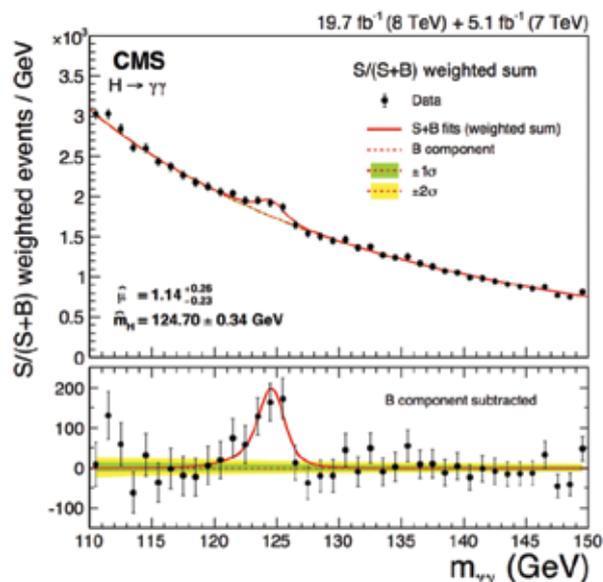


Fig. 6 - Distribuição da massa invariante de pares de fótons produzidos em colisões entre prótons em CMS. Os pares de fótons produzidos na desintegração de bosões de Higgs acumulam-se em torno da massa do bóson de Higgs a cerca de 125 GeV.

Por outro lado, este decaimento em dois fótons tem excelentes características para descobertas por duas razões.

Em primeiro lugar, as posições e energias dos fótons são extremamente bem medidas pelos detectores do LHC (Fig. 5).

Dada a precisão das medidas, a “soma” das energias dos dois fótons permite reconstruir um pico onde se acumulam pares de fótons resultantes do decaimento de bosões de Higgs (Fig. 6). Foi exactamente desta forma que os fótons deram à luz a descoberta do bóson de Higgs.

Mas há um outro aspecto deste decaimento que é muito interessante: em virtude da necessidade de ser mediado por partículas virtuais, ao medirmos a sua probabilidade, temos a possibilidade de perceber se outras partículas virtuais para além das que

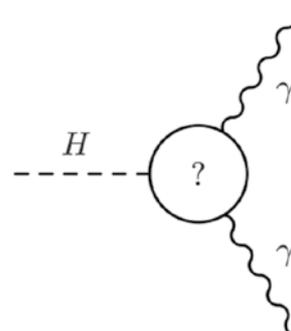


Fig. 7 - O decaimento do bóson de Higgs em pares de fótons, por ser mediado por outras partículas com as quais o bóson de Higgs pode interagir directamente, é sensível à existência de outras partículas e, por isso, pode dar pistas sobre mistérios do Universo que o modelo padrão não explica.

esperamos e conhecemos alteram a forma como o bosão de Higgs “fala” com os fótons (Fig. 7).

Mais, se 5 % do Universo é matéria visível e 24 % matéria escura, pode ser que o bosão de Higgs “fale” também com a matéria escura e nós a possamos descobrir ao escutar essa conversa com o bosão de Higgs.

Para ver, é preciso ter luz.

No caso do bosão de Higgs, a sua interacção indirecta com os fótons foi e continuará a ser muito importante na compreensão dos constituintes da matéria, que são os mesmos constituintes do Universo.

*Por opção pessoal, o autor do texto não escreve segundo o novo Acordo Ortográfico.*



**André David** obteve a Licenciatura em Eng. Física (2000) e o Doutoramento em Física (2006) no Instituto Superior Técnico. No seu doutoramento, trabalhou nos detectores da experiência NA60, e em 2006 entrou para a experiência CMS. Com os primeiros

dados de colisões do LHC, realizou a primeira medição de produção de fótons individuais isolados. Desde 2010 esteve fortemente envolvido na busca do bosão de Higgs por decaimento em dois fótons, tendo contribuído significativamente para a sua detecção e exploração das suas propriedades. Entre os seus interesses, conta-se também a divulgação científica, sendo um dos guias oficiais do CERN desde 2004.