

O LHC vem aí!

João Varela

A DATA DA INAUGURAÇÃO DO LHC FOI DEFINIDA, SERÁ EM 21 DE OUTUBRO DESTE ANO. OS DIRIGENTES POLÍTICOS JÁ RESERVARAM ESTE DIA PARA CELEBRAR NO CERN OS PRIMEIROS FEIXES DE PROTÕES ACELERADOS A 7 TEV NO LARGE HADRON COLLIDER.

Collider, pois o objectivo do projecto é colidir protões em direcções opostas e observar o que daí resulta. *Hadron*, pois os protões e núcleos acelerados no LHC pertencem a esta categoria de partículas. *Large*, pois tudo neste projecto é grande, a começar pela ambição que animou a comunidade de física de partículas há cerca de vinte anos: construir um acelerador dez vezes mais energético e detectores dez vezes maiores e mais complexos do que já tinha sido feito. Pode-se argumentar que é o empreendimento científico mais ambicioso jamais tentado. O custo total parece gigantesco, cerca de cinco biliões de euros. O tempo necessário ultrapassa a escala humana, foram precisos vinte anos para conceber, projectar e construir as experiências, e outros



quinze a vinte anos serão necessários para as explorar completamente. Físicos que se iniciaram nestes projectos irão provavelmente terminar a sua carreira no mesmo projecto. Muitos estarão na reforma antes que os primeiros resultados sejam conhecidos.

O número de físicos e engenheiros envolvidos é muito superior ao das experiências anteriores no LEP¹ ou no Tevatron². Mais de duas mil pessoas participam em cada uma das duas experiências maiores no LHC, Atlas e CMS, e outras tantas nas duas outras experiências LHC-b e Alice. Três mil contribuem para o desenvolvimento do acelerador propriamente dito. No total cerca de dez mil cientistas trabalham para que estas experiências se realizem. Quem são estas pessoas?

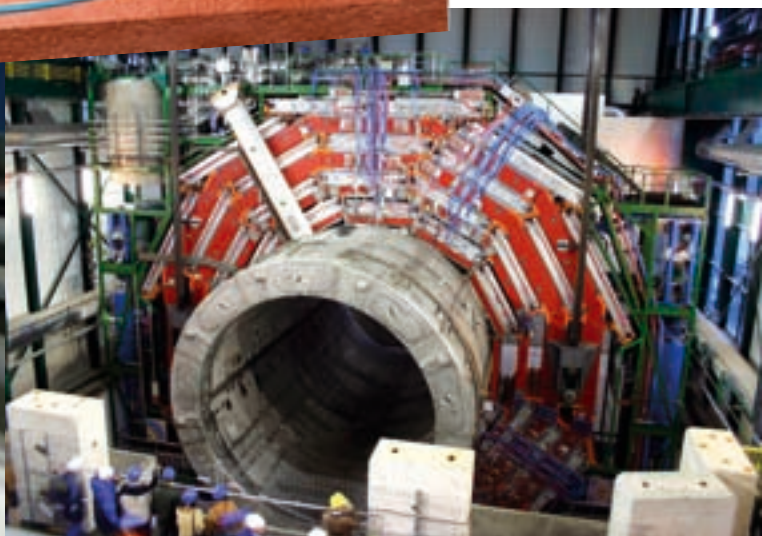
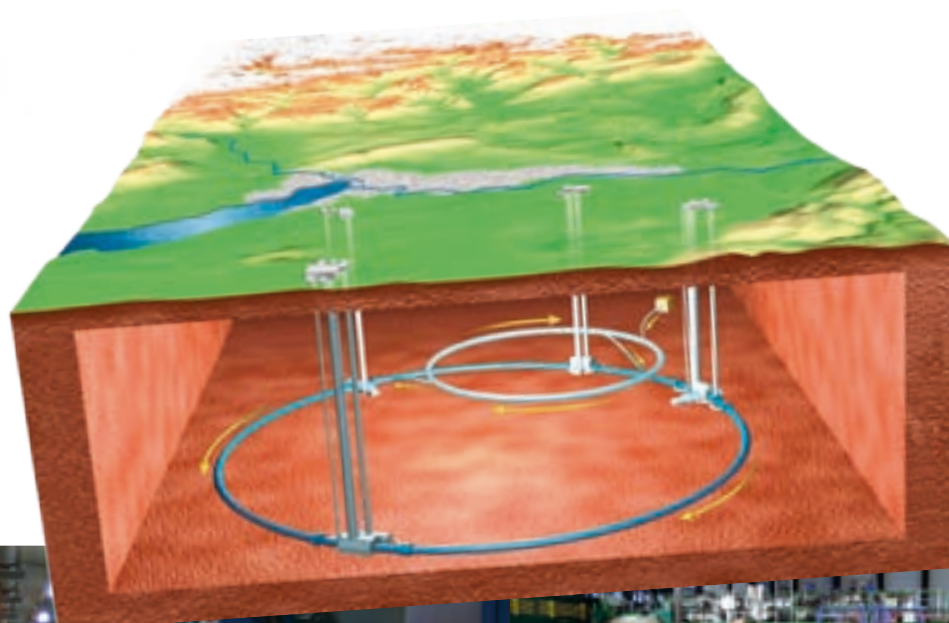
A maioria é europeia incluindo portugueses, bem entendido, mas há cerca de 20% de americanos e 10% de russos, e também há japoneses, chineses, canadianos, iranianos, indianos, turcos, etc., etc., sem reservas geopolíticas. A experiência CMS por exemplo é levada a cabo por uma colaboração

de 2200 cientistas de 160 universidades e institutos, em 36 nações! A sociologia deste grupo é fascinante. O que os motiva? Como se organizam? Que regras os regem? O que torna possível uma cadeia de responsabilidades operativa num mundo em que estão ausentes leis comerciais, interesses financeiros, garantias jurídicas, enfim tudo aquilo em se baseia o nosso bom mundo mercantilista? Deixo a resposta a quem queira um dia investigar a questão. Quaisquer que sejam essas razões o certo é que o sistema funciona!

Esta comunidade soube organizar-se numa miríade de projectos e sub-projectos nas mais diversas áreas tecnológicas, imbricados uns nos outros, para resolver centenas de desafios tecnológicos e científicos muitos deles aparentemente intransponíveis. Os obstáculos foram sendo sucessivamente vencidos ao longo dos anos, muitas vezes no quase anonimato, por núcleos de investigação normalmente de poucos indivíduos obstinados em resolver um certo problema. Um sofisticado sistema de comunicações apoiado na *Web* permitiu que a informação circulasse com a prontidão requerida. Uma fortíssima organização de *reviews*, implicando centenas de comissões, dezenas de milhares de reuniões, centenas de milhares de apresentações³, foi posta a funcionar para garantir que os objectivos eram atingidos. Neste universo

¹ O LEP é um colisionador de electrões e positrões que operou no CERN entre 1989 e 2001.

² O Tevatron é um colisionador de prótons e antiprótons a 1 TeV em operação no Fermilab, Chicago.



<http://multimedia-gallery.web.cern.ch>

nada é mais temível que um julgamento negativo dos pares.

A lista de inovações e desenvolvimentos tecnológicos realizados é infindável. Seria interessante que alguém um dia fizesse este levantamento e contasse a suas histórias. Permitiria entre outras coisas perspectivar mais claramente o custo do projecto. Aqui apenas podemos lembrar de memória alguns casos simbólicos.

Foi preciso inventar magnetos supercondutores capazes de fornecer um campo magnético suficientemente forte para manter em trajetória circular os prótons de 7 TeV ao longo dos 27 Km de perímetro do LHC. Foi necessário projectar e construir o maior sistema de criogenia jamais imaginado capaz de manter os milhares de magnetos ao longo do túnel do LHC a uma temperatura vizinha do zero absoluto com hélio superfluido.

Foi preciso projectar o maior solenóide supercondutor alguma vez construído, com seis metros de diâmetro, treze metros de comprimento e um campo magnético cem mil vezes mais intenso que o campo terrestre, para deflectir as trajetórias das partículas saídas das colisões e medir a sua energia na experiência CMS. Foi preciso inventar novos materiais, por exemplo o cristal de

tungstanato de chumbo para detectar electrões e fótons energéticos, constituído a 98% de metal mas perfeitamente transparente, e produzir a centena de toneladas necessária ao calorímetro electromagnético de CMS. Foi preciso desenvolver novos sensores, por exemplo fotodíodos por efeito de avalanche para a detecção dos flashes de luz de intensidade insignificante gerados nestes cristais. Foi preciso inventar uma tecnologia de *micro-chips* electrónicos capaz de suportar as doses de radiação enormes no seio dos detectores, muitas ordens de grandeza acima da radiação a que os circuitos nos satélites estão sujeitos.

Foi preciso projectar e construir sistemas electrónicos especiais, instalados em centenas de armários com milhares de módulos de electrónica e interconectados por dezenas de milhares de ligações ópticas e eléctricas, para fazer o *trigger* e a aquisição de dados das colisões todos os 25 bilionésimos de segundo. Foi preciso inventar um novo conceito de computação, a *Grid*, capaz de federar os computadores dispersos no planeta em centenas de centros de cálculo para processar os dados recolhidos, usando software de análise com milhões de linhas de código.

³ As agendas destas reuniões estão disponíveis em: <http://indico.cern.ch/>. A rubrica "experiments" contem agendas de 32844 reuniões num total de 21466 apresentações.



Imagine-se uma sala cheia de cientistas, conversando calmamente uns com os outros. Esta sala é como um espaço cheio com campos de partículas Higgs.



...Entra na sala um cientista de grande renome, uma verdadeira estrela, e à medida que atravessa a sala cria, naturalmente, a cada passo, uma aglomeração de admiradores, ansiosos por falarem com ele.



...Isto impede-o de percorrer a sala normalmente, criando-lhe uma resistência ao movimento, como se a sua massa aumentasse, tal como acontece a uma partícula que se move através de um campo de Higgs



...Se um rumor atravessa a sala,



... também produz um efeito de aglomeração, mas desta vez entre os próprios cientistas na sala. Estes aglomerados são como as próprias partículas Higgs.

Em geral, um campo em Física tem uma partícula associada. Por exemplo o campo electromagnético tem associado a partícula (de luz, visível ou invisível) a que chamamos fóton. Também deverá haver uma partícula (bóson Higgs) associada ao campo de Higgs. Descobrir esta partícula permitirá decidir sobre a hipótese da origem de massa das partículas no universo residir na interacção dessas partículas com o campo de Higgs. Este pode permeiar o espaço onde as partículas se movem. Assim, tal como acontece macroscopicamente, quando um objecto dentro de um líquido sente forças de viscosidade e tem mais dificuldade em deslocar-se, o campo de Higgs pode gerar a massa das partículas que viajam nesse espaço. Compreender a massa das coisas à nossa volta permite finalmente entender a estrutura e tamanho das mesmas: se a massa do electrão fosse mais pequena, por exemplo, átomos, moléculas, tudo, de um grão de poeira à maior galáxia, passando pelo sistema solar e por nós mesmos, seria tudo muito mais pequeno. E sem massa o universo não poderia mesmo organizar-se, consistindo num enxame confuso de partículas zigzagueando velozmente à velocidade da luz.

Em 1993, o ministro da Ciência do Reino Unido, William Waldegrave, desafiou os físicos a responder apenas numa página, à pergunta "O que é o bóson Higgs e porque é que o queremos encontrar?"

As quatro respostas que ganharam o desafio foram publicadas pela Physics World, vol. 6, número 9. Conheça essas respostas em: <http://www.phy.uct.ac.za/courses/phy400w/particle/higgs.htm>
Nota Editorial



<http://multimedia-gallery.web.cern.ch>

Foi preciso montar detectores mastodônticos, ATLAS com a altura de um prédio de dez andares e o comprimento de meio campo de futebol, CMS com o peso da torre Eiffel, integrando dezenas de milhões de sensores posicionados com precisão micrométrica, electrónica sofisticada que dissipa no interior do detector centenas de quilowatts, sistemas de arrefecimento que mantêm os detectores de silício a temperaturas muito baixas com uma estabilidade inferior a um décimo de grau Kelvin, circuitos criogénicos de hélio líquido para os magnetos supercondutores, centenas de milhares de ligações ópticas de alta velocidade, sistemas de distribuição de altas tensões, circuitos de gás para as câmaras de muões, sistemas de lasers para alinhamento dos sensores, monitores de temperaturas, de correntes, de pressões, de fluxos, etc., etc., formando um gigantesco puzzle 3D.

O que motivou esta comunidade de físicos a aceitar com entusiasmo um desafio científico e tecnológico de excessiva complexidade e a manter-se em estado excitado ao longo dos anos de construção, apesar de meios humanos e materiais em queda progressiva como resultado do peso decrescente que os poderes políticos

lhe acordam face ao predomínio da “investigação útil” nos tempos que correm?

Para além do orgulho próprio de um grupo é capaz de “realizações tecnológicas impossíveis”, esta comunidade move-se pela convicção profunda que o LHC vai trazer algo de muito importante para a física. Nos seus anos de universidade todos estes físicos dedicaram longas horas a tentar compreender os mistérios quânticos e a estudar o legado de Einstein. Maravilharam-se com o percurso exaltante da física de partículas no sec. XX. Perceberam no âmago das equações o que significa o “modelo standard”, que atrás de uma designação soporífica esconde uma construção intelectual de grande beleza. São apaixonados da física que dedicam uma vida a estas experiências porque sabem que há segredos da natureza a que o LHC pode ter acesso.

Apesar de alguns esforços persistentes, a comunidade da física das partículas tem tido muita dificuldade em transmitir esta mensagem à sociedade. Muita gente ouviu falar do bóson de

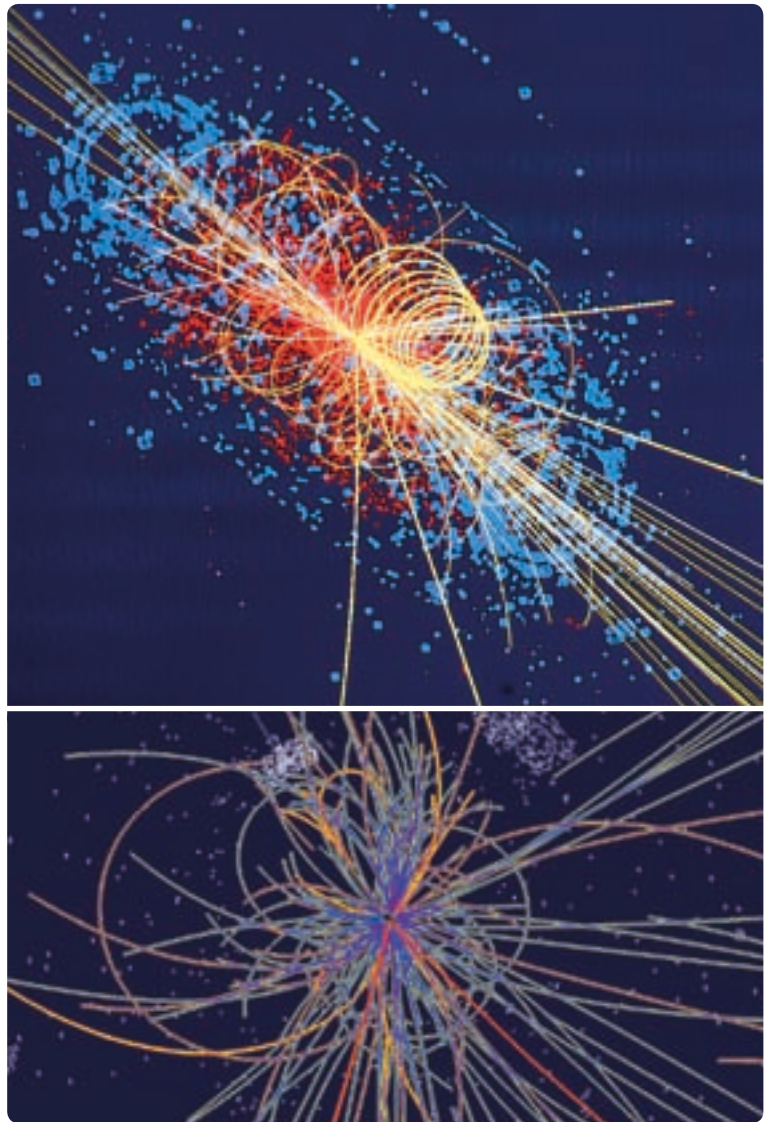
⁴ Em teoria de campo, as interações entre partículas são mediadas, ou transportadas, por partículas que se chamam bósons. O fóton, por exemplo, transporta a interação entre cargas eléctricas, ou interação electromagnética. A interação nuclear fraca é feita pelos bósons W e Z. Mas há uma diferença crucial: o fóton não tem massa enquanto o W e o Z têm. A simetria da interação electrofraca é quebrada, num processo que dá origem às massas do W e do Z. (N. E.)

Higgs mas poucos sabem do que se trata. Termos como supersimetria ou violação de CP suscitam pouco eco. Este é um dos dramas desta disciplina, consumidora de meios importantes e sem um objectivo que se reflecta claramente em benefícios imediatos para a sociedade, confronta-se com a tarefa ingrata de tornar compreensíveis temas científicos abstractos que apenas se revelam no esplendor das equações e dos gráficos de dados. Muitas das perguntas que a física colocava há vinte anos continuam sem resposta e as motivações para o LHC permanecem abertas. Os esforços e resultados das ciências físicas nas últimas duas décadas, nas áreas interdependentes das partículas, astrofísica e cosmologia, deram-nos novos conhecimentos mas simultaneamente adensaram os mistérios. Hoje há mais coisas que sabemos que não sabemos.

O modelo standard foi validado nas experiências do LEP com uma precisão impressionante mas sabemos desde já que este modelo não funciona a energias substancialmente superiores às observadas, e continuamos a desconhecer se o campo de Higgs ou algum outro mecanismo está na origem da quebra da simetria electrofraca⁴. Continuamos sem saber se há simetrias adicionais na natureza por revelar ou se o espaço-tempo tem mais dimensões do que as que se conhecem, embora ambas as possibilidades conduzam a explicações plausíveis das inconsistências do modelo standard.

À matéria escura necessária para compreender a rotação das galáxias, juntou-se a energia escura para justificar a expansão acelerada do universo observada nas medidas de supernovas. Sabemos que em conjunto representam 96% do universo mas ignoramos o que sejam. Mediu-se com uma precisão impressionante a anisotropia da radiação de fundo do universo, favorecendo os modelos de inflação, mas ninguém sabe por que razão o universo terá sofrido uma expansão fenomenal num curtíssimo lapso de tempo logo após o big-bang, nem se a explicação deste facto tem alguma coisa a ver com a energia escura ou com os campos de Higgs.

A tabela das três famílias de constituintes elementares da matéria completou-se com o quark top descoberto no Tevatron mas continuamos sem perceber a razão de ser destas três famílias. Descobriu-se experimentalmente que afinal



<http://multimedia-gallery.web.cern.ch>

os neutrinos tem massa o que justifica as oscilações observadas entre espécies de neutrinos, mas desconhece-se se é efectivamente o bóson de Higgs que está na origem desta propriedade fundamental da matéria que dá pelo nome de massa.

O LHC vai certamente ajudar a compreender alguns destes mistérios. Mas será apenas mais um passo, porventura importante, nesta procura incessante de conhecimento. Outros avanços serão permitidos por iniciativas corajosas de comunidades igualmente dinâmicas, nomeadamente a construção de grandes telescópios, de sondas em satélites, de detectores de raios cósmicos ou de novos aceleradores. A capacidade para as conduzir parece inesgotável, bem como a vontade da sociedade para as financiar. Que assim continue.



João Varela é professor no Departamento de Física do IST e investigador científico no LIP. Desde 1992 coordena a participação portuguesa na experiência Compact Muon Solenoid no anel de colisão LHC e é adido científico do CERN onde tem a posição de CMS Trigger Project Manager.