

Ciência no CERN: uma ponte entre culturas







# Ciência no CERN: uma ponte entre culturas

por Marilena Streit-Bianchi

Genebra  
2018



Este livro está disponível também em inglês (v.o.), francês, alemão, italiano.

Desenhos de capa:

**Frente: “Pushing particles near to the speed of light”** Justino António Cardoso 2015, Tinta da china

**Verso: “Geneva Switzerland”** Justino António Cardoso 2015, Tinta da china em cor

© 2018 [[o(s) autor(es)]]. Livro em acesso aberto (OA = open access), os artigos são disponibilizados de acordo com a licença CC BY (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

e os trabalhos artísticos de acordo com a licença Attribution-Non Commercial-ShareAlike 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).

Referenciar artigo(s) ou trabalho(s) artístico(s) como segue: [[Nome(s) do autor(es) o artista(s)]], [[Título do artigo ou do(s) trabalho(s) artístico(s)]] em “Ciência no CERN: uma ponte entre culturas”, por Marilena Streit-Bianchi, 2018, pp [[número da página]]

DOI 10.5281/zenodo.1196813



Dedicado ao Dr. Karl-Peter Streit, físico que foi membro da Universidade de Heidelberg e assistente do Prof. Volker Soergel. Karl-Peter participou nas experiências WA2, WA42 e WA46 dedicando-se ao estudo do hiperões. Em 1983 a colaboração WA62, da qual ele era porta-voz, demonstrou a existência do barião strange charm  $\Lambda^+$  (csu) a 2,46 GeV /  $c^2$  e em 1984 do barião charm duplo strange  $\Sigma^0$  (csu) a 2.74 GeV /  $c^2$ . Depois de trabalhar na indústria, trabalhou no grupo do prof. Allan Clark no Departamento de Física Nuclear e Corpuscular (Département de physique nucléaire et corpusculaire) da Universidade de Genebra sobre a resistência à radiação do detector de píxeis de silício para atualizações futuras do detector de traços de ATLAS (Inserção B-Layer (IBL) e LHC de alta luminosidade (HL-LHC). Durante muitos anos ele foi um utilizador do CERN.

O CERN tem sido o seu lugar de pertença profissional e intelectual do ponto de vista científico, cultural e humano.

Marilena Streit-Bianchi e Rolf Heuer



## Prefácio

Da minha própria experiência, o CERN foi, e permanece, um lugar onde o conhecimento, a competência técnica e a compreensão encontram um lar acolhedor. Foi assim desde a fundação da Organização na década de 1950 e continuará sendo enquanto o CERN existir. Isso porque aqueles que trabalham no CERN em pesquisas ou sectores operacionais são motivados pelo desejo de avançar a fronteira da nossa compreensão das forças fundamentais da natureza, independentemente de onde elas vierem, ou de quaisquer preconceitos culturais que possam ter.

Este livro dá um vislumbre das actividades do CERN e destaca várias facetas menos conhecidas do Laboratório, facetas que, no entanto, são essenciais para realizar pesquisas em Física de Altas Energias. O CERN não é apenas um excelente exemplo de excelência em pesquisa, tecnologia e inovação, mas também um genuíno epicentro de diversidade de competências e de humanidade.

A ciência e a arte têm a criatividade e o espírito livre como denominador comum. Este livro mostra como estes dois mundos, uma vez claramente unidos, mas agora percebidos como separados, permanecem, de fato, manifestações da mesma vontade de indagação humana.

Mostra também como artistas de diferentes origens culturais\* percebem o CERN e o trabalho aqui realizado e o trabalho gráfico do artista Justino António Cardoso traz uma inspiração Africana inconfundível e única.

Para concluir, gostaria de acrescentar que este livro, nas suas várias versões linguísticas, foi possível unicamente graças ao trabalho voluntário de todos os participantes que, além do seu trabalho científico ou artístico diário, tomaram o tempo para contribuir neste empreendimento.

Os meus sinceros agradecimentos a:

- Sergio Bertolucci, professor da Universidade de Bolonha e precedente Diretor de Pesquisa e Informática no CERN, pelo apoio prestado durante a estadia de Justino António Cardoso no CERN.
- João Penedones Fernandes, professor de Física na EPFL (École polytechnique fédérale de Lausanne) por ter explicado a Justino António Cardoso as actividades do CERN e,
- José Carlos Rasteiro Da Silva, Engenheiro Electrónico do LIP (Laboratório de Instrumentação e Física Experimental de Partículas) em Lisboa que trabalha na experiência CMS, por ter mostrado e explicado as instalações do CERN ao Justino António Cardoso.

Estou profundamente grata a Beatrice Bressan, Melissa Gaillard, James Gillies, Paulo Gomes, Bettina Hamoudi, João Antunes Pequenão, Pascale Pessy, Délio Duarte Ramos e Klaus Michael Streit pela ajuda fornecida pela tradução e revisão deste livro.

Marilena Streit-Bianchi

\* Davide Angheluddu (Itália), Justino António Cardoso (Moçambique), Margarita Cimadevila (Espanha), Angelo Falciano (Itália), Michael Hoch (Áustria), Karen Panman (Países Baixos), Islam Mahmoud Sweity (Palestina)

## Índice

|   |    |
|---|----|
| <b>Prefácio</b> <i>Marilena Streit-Bianchi</i> .....  | IV |
| <b>CERN, Laboratório Europeo de Física de Partículas</b> <i>Marilena Streit-Bianchi</i> ....' | 3  |
| <b>CERN, Ciência para a paz</b> <i>Emmanuel Tsesmelis</i> .....                               | 5  |
| <b>Modelo Padrão e pesquisas na nova física fundamental</b> <i>John Ellis</i> .....           | 9  |
| <b>Aceleradores: como e porquê?</b> <i>Lucio Rossi</i> .....                                  | 13 |
| <b>Físicos e experiências</b> <i>Ana Maria Henriques Correia e João Martins Correia</i> ..... | 23 |
| <b>CERN e as Tecnologias da Informação</b> <i>Frédéric Hemmer</i> .....                       | 31 |
| <b>Transferência de conhecimento e tecnologia</b> <i>Giovanni Anelli</i> .....                | 35 |
| <b>ClearPEM</b> <i>João Varela</i> .....  | 36 |
| <b>ARTSCI no CERN</b> <i>Arthur I. Miller</i> .....   | 39 |
| <b>Ciência, política e sociedade</b> <i>Rolf Heuer</i> .....                                  | 41 |

## *Artistas e título de obras de arte*

*Justino António Cardoso (Moçambique):*

|  |               |
|--|---------------|
| <b>Pushing particles near to the speed of light</b> .....                | capa do livro |
| <b>Geneva Switzerland</b> .....  | capa traseira |
| <b>CERN, the largest particle physics laboratory in the world</b> .....  | 1             |
| <b>The evolution of our Universe</b> .....                               | 2             |
| <b>How to extend the Standard Model?</b> .....                           | 4             |
| <b>The forces</b> .....  | 8             |
| <b>Strings propagate through space and interact</b> .....                | 11            |
| <b>The search is open</b> .....  | 12            |
| <b>CERN's accelerator complex</b> .....                                  | 15            |
| <b>Energetic protons in a circular collider</b> .....                    | 16            |
| <b>Superconducting coils of an LHC magnet and vacuum beam pipe</b> ..... | 17            |
| <b>Tanks of liquid helium to cool the LHC</b> .....                      | 17            |
| <b>A look into the future</b> .....                                      | 20            |

|  |    |
|--|----|
| <b>Chameleon a hypothetical scalar particle</b> .....              | 27 |
| <b>Accelerators and detectors to understand the Universe</b> ..... | 30 |
| <b>A clinical application: ClearPEM</b> .....                      | 35 |
| <b>An innovative technology</b> .....                              | 37 |
| <b>The gravitation law I know</b> .....                            | 38 |
| <b>Gargamelle and the neutral currents</b> .....                   | 44 |
| <b>Knowledge and black holes</b> .....                             | 45 |

*Angelo Falciano (Itália):*

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| <b>Congetture circolari</b> ..... | 15 |
|-----------------------------------|----|

*Margarita Cimadevila (Espanha):*

|                     |    |
|---------------------|----|
| <b>Quarks</b> ..... | 21 |
|---------------------|----|

*Islam Mahmoud Sweity (Palestina):*

|   |    |
|---|----|
| <b>François Englert and Peter Higgs no CERN em 2012</b> ..... | 22 |
|---|----|

*Davide Angheluddu (Itália):*

|   |    |
|---|----|
| <b>ATLAS Remeshed-Higgs Boson (escultura)</b> ..... | 24 |
|---|----|

|   |    |
|---|----|
| <b>ATLAS Remeshed-Higgs Boson (impressão fotográfica)</b> ..... | 24 |
|---|----|

*Michael Hoch (Áustria):*

|   |    |
|---|----|
| <b>Matter-Anti-Matter, symmetry 4</b> ..... | 25 |
|---|----|

*Karen Panman (Países Baixos):*

|   |    |
|---|----|
| <b>Strings at the horizon of a black hole</b> ..... | 40 |
|---|----|

*FOTOS*

|  |    |
|--|----|
| <b>Simon van der Meer e Carlo Rubbia festejam a atribuição do Prémio Nobel de 1984 com um brinde no CERN (CERN-PHOTO-8410523 1984)</b> ..... | 21 |
|--|----|

|  |       |
|--|-------|
| <b>Justino António Cardoso no CERN</b> ..... | 46-47 |
|--|-------|





O maior laboratório do mundo de Física de Partículas é uma organização líder na criação do conhecimento





**"The evolution of our Universe"** Justino António Cardoso 2015, Tinta da china

*Passaram milhares de milhões de anos de evolução no nosso universo antes do início da vida na Terra. Os físicos do LHC estão estudando o que aconteceu  $10^{-12}$  segundos após o Big Bang. Os átomos de hidrogénio e hélio formaram-se cerca de 380.000 anos mais tarde.*



## **CERN, Laboratorio europeo de Física de Partículas**

*Marilena Streit-Bianchi*

O CERN, Organização Europeia para a Investigação Nuclear, é o maior laboratório do mundo de Física de Partículas e um exemplo europeu de longa data de investigação, educação e transferência de conhecimento. O Laboratório foi fundado em 1954 instalado na fronteira franco-suíça, perto de Genebra, com o objectivo de criar um centro de prestígio mundial de pesquisa de física para impedir a fuga de cérebros para os Estados Unidos da América e federar a Europa em torno de um projeto de pesquisa que não poderia ser levado a cabo por uma única nação. O grupo de cientistas e políticos visionários que fundaram o CERN queria promover a compreensão entre as pessoas, independentemente da sua nacionalidade, opinião política ou crenças religiosas.

O CERN é hoje muito internacional especialmente através de colaborações de pesquisa com mais de 600 institutos e universidades de todo o mundo, que utilizam as suas instalações.

O CERN é também um centro mundial de excelência de grande renome, que contribuiu para grandes descobertas no campo da física de partículas e continua a ser uma organização líder na criação de conhecimento. O seu papel e importância para a educação e formação de físicos, engenheiros, cientistas e técnicos de informática está a crescer continuamente. Por ano, cerca de mil jovens recebem qualificações para o trabalho realizado no CERN. Ao longo dos anos, os resultados positivos da aquisição de conhecimento e transferência tem dado provas substanciais e beneficiou tanto colaboradores jovem como os mais experientes. O Laboratório é uma fonte de desenvolvimentos tecnológicos contínuos para aceleradores, detectores, aquisição e análise de dados, na busca de compreender as leis fundamentais da Natureza.

No CERN, os resultados obtidos com a pesquisa fundamental são publicados, livremente trocados e disponibilizados para o mundo. Desde o início, os cientistas do CERN desenvolveram um conceito muito natural de partilha de informação, que tem envolvido os jovens investigadores, engenheiros e estudantes. Como resultado, todos são capazes de exercer e cumprir o seu / sua curiosidade, interagindo com pessoas de muitas origens diferentes, campos e especialização.

Para qualquer novo colaborador que chegue ao CERN, é sempre uma grande descoberta estar em contacto com as infraestruturas gigantescas do laboratório, o espírito de equipa livre e novas possibilidades de aprendizagem e partilha. Nas grandes colaborações, o papel da gestão e coordenação é a chave para o sucesso do esforço científico. O impacto em muitos campos do conhecimento é enorme.

O CERN tem uma longa tradição na promoção de relações com a indústria para desenvolver as tecnologias inovadoras necessárias para a construção de aceleradores e detectores. Hoje, depois de ter institucionalizado a Transferência de Conhecimentos e de Tecnologia e de ter aumentado os esforços para assegurar um impacto mais rápido e eficaz, o CERN está a desempenhar um papel ainda mais activo na transferência de inovações da investigação fundamental para a sociedade.





“How to extend the Standard Model?” Justino António Cardoso 2015, Tinta da china

## CERN, Ciência para a paz

*Emmanuel Tsesmelis*

No final da Segunda Guerra Mundial, a ciência europeia já não estava em posição de liderança. Seguindo o exemplo de outras organizações internacionais, vários cientistas e políticos visionários propuseram a criação de um laboratório europeu de física nuclear. Tal laboratório não só permitiria unir os cientistas europeus, mas também que eles compartilhassem os custos crescentes das instalações de física nuclear. O físico francês Louis de Broglie apresentou a primeira proposta oficial para a criação de um laboratório europeu na Conferência Cultural Europeia, que se iniciou em Lausanne no dia 9 de Dezembro de 1949. Mas a pressão aumentou na quinta Conferência Geral da UNESCO, realizada em Florença em Junho de 1950, onde o físico americano e o premiado com o Nobel Isidor Rabi apresentou uma resolução autorizando a UNESCO a “auxiliar e encorajar a formação de laboratórios regionais de pesquisa para potenciar a colaboração científica internacional”.

Na sexta sessão do Conselho do CERN, que decorreu em Paris de 29 de Junho a 1 de Julho de 1953, a Convenção CERN que institui a Organização foi assinada, sob reserva de ratificação, por 12 Estados. A convenção foi gradualmente ratificada pelos 12 Estados-Membros fundadores: Bélgica, Dinamarca, França, República Federal da Alemanha, Grécia, Itália, Países Baixos, Noruega, Suécia, Suíça, Reino Unido e Jugoslávia. No dia 29 de Setembro de 1954, após a ratificação por um número suficiente dos 12 países, o CERN - Organização Europeia para Pesquisa Nuclear - surgiu oficialmente.

A Convenção do CERN resistiu aos desafios do tempo por mais de 60 anos. Fornece os meios para permitir que a Organização se adapte a um ambiente político em mudança e a novos desafios científicos e tecnológicos. A Convenção é testemunho da sabedoria e da previsão dos pais fundadores do CERN, em perfeita sintonia com a sua visão de reconstruir a paz na Europa, estabelecendo um ponto fulcral exclusivo que promova a colaboração científica numa escala sem precedentes, entre as nações que estiveram em guerra entre si havia apenas alguns anos antes.

Desde então o CERN ajudou a construir a confiança mútua através das fronteiras. Durante os anos da Guerra Fria, o CERN em 1968 concluiu um acordo com a União Soviética, estabelecendo uma cooperação com o grande laboratório nacional do Instituto de Física de Alta Energia (IHEP) em Protvino, perto de Serpukhov. Em 1956, o laboratório internacional chamado Joint Institute for Nuclear Research (JINR) foi fundado em Dubna, a nordeste de Moscovo, de acordo com o modelo do CERN para os “Estados do Pacto de Varsóvia” atrás da Cortina de Ferro. A cooperação entre o JINR e o CERN forneceu uma das raras pontes para a cooperação entre físicos do Ocidente e do Leste durante a Guerra Fria. O CERN desempenhou um papel particularmente importante na cooperação entre cientistas da Alemanha Ocidental e da Alemanha Oriental, pois naquela época era a única possibilidade de os cientistas das duas partes da Alemanha trabalharem juntos. A cooperação entre o JINR e o CERN foi fortalecida durante as últimas décadas e levou a um acordo recíproco que viu o CERN tornar-se em Observador do JINR e o JINR tornando-se em Observador do Conselho do CERN. Outro exemplo é a cooperação entre o CERN e a República Popular da China. Começou na década de 1970, inicialmente em tecnologia de aceleradores e em física teórica, e logo seguida pela participação no programa experimental de física do CERN. Com base em acordos de cooperação internacional assinados com a República Popular da China na década de 1990, as universidades Chinesas agora participam em quatro experiências do LHC (ALICE, ATLAS, CMS e LHCb), na LHC Computing Grid e no estudo CLIC. O CERN também desenvolveu a cooperação com a Palestina. Depois da Universidade Nacional An-Najah assinar uma Expressão de Interesse com a experiência ATLAS, a Palestina deu um passo importante para consolidar sua colaboração com o CERN assinando um Acordo de Cooperação Internacional em dezembro de 2015. Depois disso, foram lançadas várias iniciativas na Palestina, incluindo Masterclasses, uma Escola de Física na Universidade Árabe Americana em Jenin e a participação de professores palestinos no programa especial de professores de ensino médio dedicado ao SESAME (Synchrotron-light for Experimental Science and Applications in the Middle East). O CERN serviu de modelo para outras organizações científicas europeias bem



sucedidas e, mais recentemente, para a fonte de luz de sincrotrão SESAME no Médio Oriente.

Hoje o LHC é o projeto científico emblemático do CERN que lançou uma nova era de pesquisa e descoberta em física de partículas. As experiências no LHC forneceram a observação inovadora do bóson de Higgs, validando o mecanismo de Brout-Englert-Higgs (BEH) e sendo uma das descobertas mais significativas na história da física fundamental. As expectativas para o LHC são grande, pois abrem as portas à colaboração, oferecendo a oportunidade de reconhecer as diferenças, aceitá-las e aprender com perspectivas revolucionárias na compreensão do microcosmo e uma mudança fundamental acerca da nossa visão do Universo. Os trabalhos e experiências neste âmbito estão em fase adiantada e os resultados estão a ser testados.

O CERN e os seus projectos científicos de grande envergadura, como o LHC, requerem uma grande e sustentada infra-estrutura e também uma colaboração global de longo prazo. As grandes colaborações internacionais do LHC fornecem um ambiente onde as pessoas aprendem a trabalhar, oferecendo a oportunidade de reconhecer as diferenças, aceitá-las e aprender com elas a colaborar respeitando a diversidade. O CERN também é um exemplo de esforços unificadores em vários campos de competências diferentes. Engenheiros, técnicos e administradores trabalham com um objectivo comum de desenvolver equipamentos de tecnologia de ponta e fornecer os serviços e suporte necessários para as infra-estruturas de pesquisa e sistemas auxiliares. Construir infra-estruturas de pesquisa com a complexidade do LHC requer engenheiros, técnicos e administradores para engenharia civil, instalação, ímans, sistemas de radiofrequência, vácuo, criogenia, electricidade, saúde e segurança, protecção contra radiação, serviços jurídicos, brigada de bombeiros, logística, finanças, compras e gestão de recursos humanos, etc. Isto representa a grande maioria do pessoal da equipa do CERN, que em 2017 conta com cerca de 2.500 pessoas. Além disso, cerca de 1.000 contratados de empresas externas fornecem serviços que não fazem parte da competência central do CERN.

Os resultados do LHC e as suas actualizações guiarão os destinos da física de partículas nos próximos anos. O CERN, através do LHC, está numa posição privilegiada para contribuir para uma melhor compreensão da física de partículas a longo prazo. Neste sentido, o CERN está a explorar duas vias diferentes e desafiadoras para preparar o seu futuro - CLIC e FCC.

Os projectos relativos às instalações para física de altas energias (como para outros ramos da ciência) estão a tornar-se de maiores dimensões e mais caros. O financiamento nestas matérias não aumenta em muitos países e os prazos dos projectos estão a tornar-se cada vez mais longos. Ambos os factores resultam em menos instalações desenvolvidas. A física de partículas precisará de evoluir, adaptando-se a esta situação. Isso leva à necessidade de mais coordenação e mais colaboração em larga escala. A especialização em física de partículas precisa de ser mantida em todas as regiões, garantindo estabilidade e suporte a longo prazo. É necessário envolver todos os países com as comunidades de física de partículas estabelecidas e integrar as comunidades emergentes noutros países. As agências de financiamento devem, por sua vez, fornecer uma visão global. O planeamento e a execução de projectos de física de altas energias exigem hoje parcerias mundiais para projectos globais, regionais e nacionais, nomeadamente para todo o programa de física de partículas. A física de partículas deve adaptar-se a esta realidade em evolução, promovendo uma maior coordenação e colaboração à escala global.

O CERN baseia-se numa longa tradição de um envolvimento global no nosso trabalho científico. A Organização tem relações formais com Estados Não-Membros (NMS) através de acordos bilaterais de cooperação internacional (ICAs), em vigor com cerca de 50 países. De um total de cerca de 13.000 utilizadores do CERN, a participação dos utilizadores de Estados Não-Membros é agora quase 40% - a maioria deste utilizadores são investigadores dos EUA e da Federação Russa que trabalham no LHC. A participação global de Estados Não-Membros no programa de pesquisa não-LHC é actualmente de cerca de 20%. Os recursos financeiros para programas de pesquisa, nomeadamente os custos de manutenção e operação para as experiências do LHC, são partilhados entre os Estados Membros, os Membros Associados e os Estados Não-Membros. Além disso, há um crescente interesse em



colaboração em I&D de aceleradores, como por exemplo ímãs de alta intensidade, estruturas de aceleração, e tecnologias relacionadas, com foco nas actualizações do LHC e também nos estudos FCC e CLIC. O número de estados envolvidos em tais actividades já está a crescer para além do círculo restrito de NMS que contribuiu para a construção do acelerador LHC.

O interesse cada vez mais global no CERN também se traduz numa procura crescente de programas de educação e estágios do CERN - que se enquadram na missão de ajudar a construir estruturas em países que estão a desenvolver as suas comunidades de física de partículas. As conquistas científicas do CERN ao longo dos anos acompanharam a política do CERN de aumentar a rede global de colaboração científica, tecnológica e educacional com parceiros mundiais.

Desta forma, em 2010, o Conselho aprovou a mudança mais radical do paradigma da política de adesão do CERN até hoje, incorporada numa nova política de ampliação geográfica que disponibilizou a adesão completa a países não europeus, independentemente da localização geográfica. Ao mesmo tempo, o Conselho introduziu um novo instrumento de Associação para facilitar a adesão de novos membros, incluindo países emergentes fora da Europa, que não podem contar com recursos suficientes para sustentar a adesão total no futuro imediato.

Hoje, o CERN tem 22 Estados-Membros<sup>1</sup>, oito Estados Membros Associados<sup>2</sup> e seis Estados Observadores<sup>3</sup>. Israel tornou-se o 21º Estado-Membro do CERN em 2014, enquanto a Roménia se juntou como o 22º Estado-Membro em 2016. Chipre, Sérvia e Eslovénia são actualmente membros associados na pré-fase de adesão, enquanto a Índia, a Lituânia, o Paquistão, a Turquia e a Ucrânia são Membros Associados. O Brasil e a Croácia também solicitaram adesão. Num momento em que o CERN atrai novos Estados-Membros e Estados-Membros associados, o desenvolvimento nas relações formais com outros Estados Não Membros, por exemplo através da conclusão de novos acordos de cooperação internacional (ICAs), continua. Hoje, cerca de 50 ICAs estão em vigor com uma distribuição geográfica diversa e ampla e contactos científicos também foram estabelecidos com muitos outros países<sup>4</sup>.

A política de alargamento geográfico de 2010 oferece grandes oportunidades para o futuro da Organização. Agora, o CERN desenvolve uma estratégia, apresentada ao Conselho em Março de 2016, para garantir que o alargamento geográfico consolide a base institucional e, assim, reforce as aspirações científicas a longo prazo da Organização. O alargamento não é um objetivo em si mesmo. Em vez disso, o foco está no fortalecimento das relações com países que podem trazer conhecimentos científicos e tecnológicos para o CERN e, por sua vez, podem beneficiar de uma colaboração mais próxima, ao mesmo tempo ajudando a criar e desenvolver competências em países com comunidades de física de partículas em desenvolvimento. É essencial que os membros e os membros associados sejam benéficos para a física de partículas em países individuais e que os governos continuem a investir no crescimento das comunidades nacionais. Ao mesmo tempo, o alargamento não deve prejudicar a eficiência operacional do laboratório.

Em conclusão, olhando para o futuro, o envolvimento do CERN com a comunidade internacional de física de partículas está claramente orientado para continuar com os objectivos

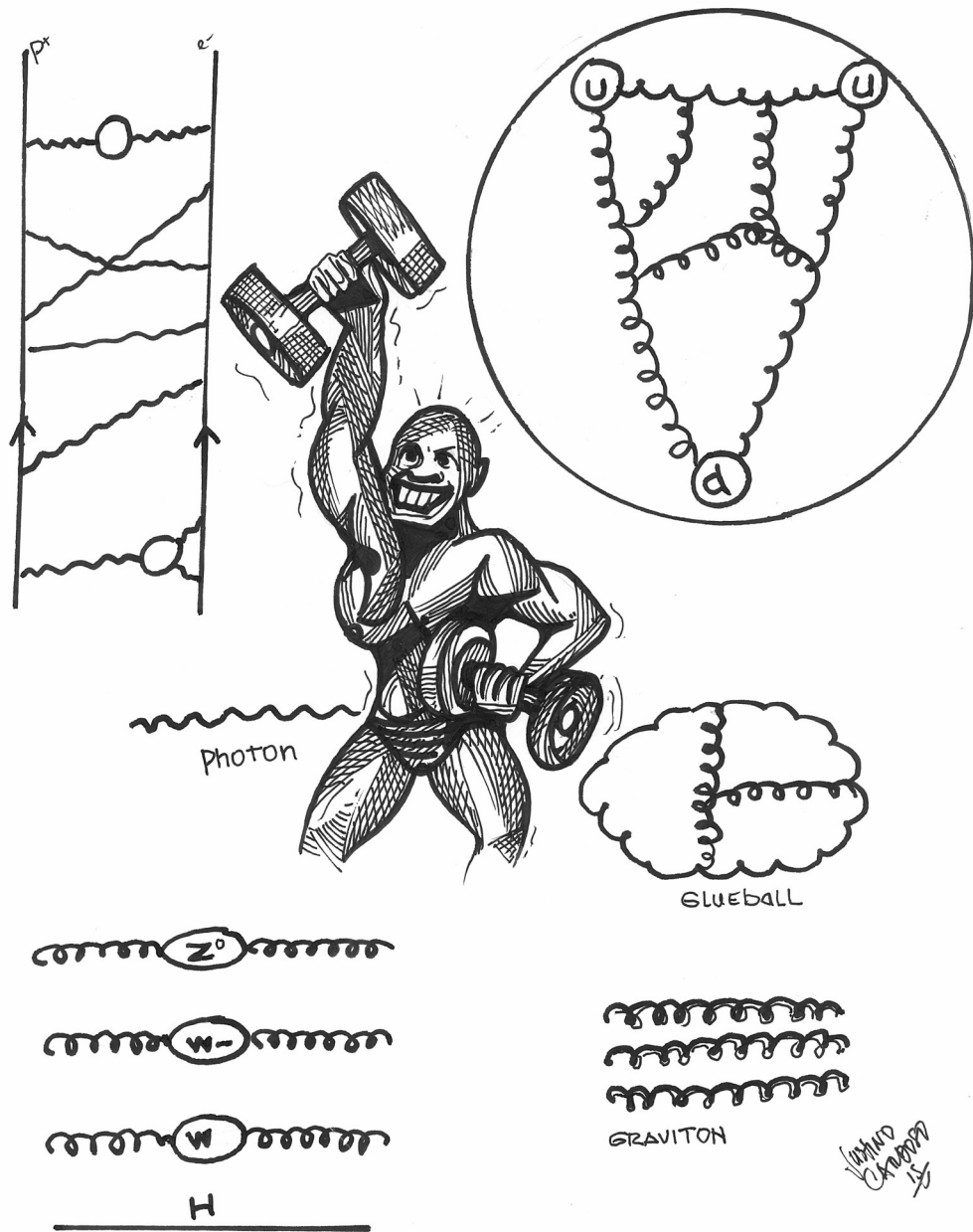
<sup>1</sup> Estados membros: Alemanha, Áustria, Bulgária, Bélgica, Dinamarca, Espanha, Finlândia, França, Grécia, Hungria, Israel, Itália, Países Baixos, Noruega, Polónia, Portugal, República Eslovaca, República Checa, Roménia, Suécia, Suíça, Reino Unido.

<sup>2</sup> Chipre, Sérvia e Eslovénia são Membros Associados em pré-fase de adesão. Índia, Lituânia, Paquistão, Turquia e Ucrânia são Membros Associados.

<sup>3</sup> Japão, Federação Russa, Estados Unidos da América; União Européia, JINR e UNESCO. são Observadores.

<sup>4</sup> <http://international-relations.web.cern.ch/stakeholder-relations/Associate-Non-Member-State-Relations>  
Estados Não-Membros: territórios e regiões que colaboram com o CERN - Albânia, Arábia Saudita, Argélia, Argentina, Arménia, Austrália, Azerbaijão, Bangladesh, Bielorrússia, Bolívia, Brasil, Canadá, Qatar, Chile, China, Colômbia, Costa Rica, Croácia, Cuba, Equador, Egipto, Emirados Árabes Unidos, Estónia, Filipinas, Geórgia, Gana, Hong Kong, Islândia, Indonésia, Irão, Irlanda Jordânia, Cazaquistão, Coreia, Letónia, Líbano, Madagáscar, Malásia, Malta, México, Mongólia, Montenegro, Marrocos, Moçambique, Nepal, Nova Zelândia, Omã, Palestina, Peru, Ruanda, Antiga República Jugoslava da Macedónia, Singapura, África do Sul, Sri Lanka, Taiwan, Tailândia, Tunísia, Uzbequistão, Vietname.

estabelecidos na Convenção do CERN e na política de ampliação geográfica, conscientes de que investigar a unificação das forças fundamentais da Natureza exige unir os nossos esforços para a ciência numa escala global para o benefício da disciplina a longo prazo.



“The forces” Justino António Cardoso 2015, Tinta da china

Quatro são as forças ou interações fundamentais. A força forte permite a coerência dos quarks entre eles e os gluões são os mediadores dessa força. A força eletromagnética liga os electrões ao núcleo do átomo e os átomos nas moléculas, partículas mediadoras são os fotões. A força fraca é responsável pela radioatividade e as reacções nucleares no centro das estrelas, os mediadores dessa força são os bosões  $W^+$ ,  $W^-$  e  $Z$ . A Gravidade é a força de atracção que causa a queda de objectos na Terra para determinar a atracção de planetas e estrelas e de estrelas em galáxias. O mediador desta força é o gravitão (ainda não descoberto).

# Modelo Padrão e pesquisas na nova física fundamental

*John Ellis*

## De onde viemos?

“De onde viemos? Quem somos? Para onde vamos?” Estas são questões intemporais e universais que o ser humano tem vindo a colocar há milhares de anos. Notoriamente, questões deste tipo foram colocadas ao visualizar uma pintura muito conhecida criada em 1897 por Paul Gauguin, no ano da primeira descoberta de uma partícula elementar, o electrão. Os físicos de partículas ao interpretarem a segunda questão de Gauguin “Quem somos?”, têm uma resposta chamada Modelo Padrão, que descreve toda a matéria visível no Universo. O sucesso culminante do Modelo Padrão foi a descoberta em experiências do LHC, **L**arge **H**adron **C**ollider do CERN, do bóson de Higgs, a última partícula prevista no modelo padrão. A sua descoberta fornece informações sobre o que aconteceu no início da história do Universo e levanta questões sobre o seu possível futuro, respondendo assim às outras duas perguntas de Gauguin. Porém o Modelo Padrão é incompleto. Por exemplo, não explica a origem da matéria no Universo, e também não explica a misteriosa matéria escura que permitiu que as galáxias se formassem e ainda se mantenham coesas. Para abordar estas questões, estão a decorrer experiências no LHC e os físicos de partículas também estão a discutir os próximos passos na busca universal articulada por Gauguin.

As colisões de partículas no LHC e máquinas similares tentam recriar os eventos que ocorreram no início da história do universo. No entanto, colisões com energias mais elevadas as que se conseguem no LHC permitiriam olhar mais para trás no tempo. Portanto, uma opção é construir uma versão mais poderosa do LHC num túnel circular maior. No LHC colidem prótons (núcleos de hidrogénio) com energias de até cerca de 14.000 vezes equivalentes à sua energia de massa em repouso, e um acelerador circular de energia superior pode ser capaz fazer colisões a 100.000 vezes a energia da massa em repouso do próton. Essas colisões podem finalmente revelar-nos a origem da matéria escura e do preenchimento do Universo. Outra possibilidade poderia ser colidir electrões com as suas antipartículas. Tais colisões teriam lugar a energias mais modestas, mas poderiam, em princípio, fornecer informações muito mais precisas sobre as partículas que produzem, como o bóson de Higgs. Tais estudos de alta precisão ajudar-nos-iam a compreender melhor o que aconteceu no início da história do nosso Universo, e poderiam fornecer pistas indirectas sobre a nova física que poderia estar para além do Modelo Padrão.

O próximo passo na física de partículas será um desafio verdadeiramente global, exigindo o desenvolvimento de muitas novas tecnologias, a formação de muitos engenheiros e cientistas, recursos financeiros significativos e um amplo apoio político. As tecnologias necessárias são desenvolvidas através da engenharia por meio de criogenia, ciência dos materiais, da electrónica e da informática. Muitas dessas tecnologias têm aplicações que permitem responder às perguntas de Gauguin.

Agora é o momento de pensar em conjunto a forma de enfrentar este desafio para a curiosidade humana.

## Modelo Padrão e novas pesquisas

A física de partículas forneceu-nos com uma teoria, chamada “Modelo Padrão”, que descreve com sucesso toda a matéria visível no Universo. No entanto, astrofísicos e cosmólogos julgam que o Universo contém muito mais do que os olhos, ou mesmo telescópios dos astrónomos conseguem ver.

Na década de 1930 o astrónomo suíço Fritz Zwicky descobriu que galáxias nas proximidades do enxame de Coma estão a ser movimentadas por um campo gravitacional muito mais forte do que poderia ser gerado pela matéria visível no enxame. Ele sugeriu que este campo gravitacional extra deve ser devido a “matéria escura” adicional, invisível e que não emite luz. Esta ideia radical demorou a ser aceite, mas a evidência crucial veio na década de 1970 a partir de resultados obtidos pela astrónoma estadunidense Vera Rubin e outros sobre os movimentos de estrelas em galáxias diferentes. Ao contrário do



sistema solar, em que os planetas que estão mais longe do Sol se movem mais lentamente, de acordo com as leis de Kepler, descobriu-se que as estrelas que estão mais distantes dos centros das galáxias, movem-se muito mais rapidamente que o esperado com base na gravidade devida à matéria visível, a velocidades semelhantes às das estrelas mais próximas. Essas observações mostram que deve haver espaço extra, matéria escura invisível que circunda galáxias, muitas vezes mais do que a matéria visível. Muitas observações subsequentes apoiaram a hipótese da matéria escura.

No entanto, foi com grande surpresa no final de 1990 e início de 2000, que os astrónomos descobriram que para além da matéria escura concentrada nas galáxias e aglomerados, deve haver alguma distribuição adicional de energia em todo o espaço “vazio” entre eles. Esta chamada “energia escura”, está a fazer o Universo expandir-se a um ritmo acelerado, ao contrário da matéria comum e escura, cuja atração gravitacional faria abrandar a expansão do Universo. Em geral, a densidade da energia escura deve ser cerca de 3 vezes maior do que a da matéria.

O que dizer sobre a composição de matéria escura? A ideia popular é que pode ser algum tipo desconhecido de massa, de partículas que interagem fracamente. O Modelo Padrão não contém quaisquer possíveis candidatos, mas muitas extensões do Modelo Padrão apresentam candidatos. Uma sugestão comum é que a partícula de matéria escura pode ter entre 100 e 1000 vezes a massa do próton, o que poderia colocar sua produção dentro do alcance do LHC. As experiências no LHC estão à procura de colisões em que uma grande quantidade de energia é levada por partículas de matéria escura invisível, mas sem qualquer sucesso até agora. Estão a ser levadas a cabo pesquisas no LHC a energias mais altas, mas a descoberta da matéria escura pode exigir um futuro colisionador de maior energia. Alternativamente, as experiências de astrofísica estão a focar-se directamente para a matéria escura, por exemplo a experiência AMS (**A**lpha **M**agnetic **S**pectrometer), cuja sala de controlo está no CERN, está à procura, na Estação Espacial Internacional, de sinais que podem ter sido produzidos por partículas de matéria escura aniquilando-se no espaço interestelar.

E a energia escura? A possibilidade de sua existência foi sugerida pela primeira vez por Einstein em 1917, com o que chamou de “constante cosmológica”. Todas as teorias da física fundamental prevêem possíveis contribuições para a densidade da energia escura, por exemplo, através do bóson de Higgs no Modelo Padrão, de modo que sua presença não deveria ter sido uma surpresa. No entanto, essas teorias normalmente prevêem muito mais energia escura do que o descoberto pelos astrónomos. O quebra-cabeça é saber porque é que a densidade da energia escura é tão baixa.

Estudos do bóson de Higgs no LHC e em futuros aceleradores podem dar luz a este enigma escuro. Uma possibilidade é que a energia escura está a ser mimetizada por uma nova partícula cuja massa depende da densidade local de matéria: uma tal partícula “Chameleon” seria muito difícil de detectar experimentalmente, tal como o camaleão que muda de cor!



**“Strings propagate through space and interact”** Justino António Cardoso 2015, Tinta da china

Muitos físicos teóricos pensam que os constituintes fundamentais da matéria são sujeitos a vibrações e desenvolvem modelos baseados nessa ideia. (legenda da figura por John Ellis)



"The search is open" Justino António Cardoso 2015, Tinta da china



## Aceleradores: como e porquê?

Lucio Rossi

Acelerar, ou seja, ganhar gradualmente mais velocidade (OED): desde 1909, a época do manifesto do Futurismo, a aceleração tem sido uma das marcas do tempo contemporâneo. Os aceleradores de partículas, inventados no século XX, são um produto típico desse período em que as barreiras foram quebradas e as novas fronteiras do conhecimento foram excedidas.

Rutherford foi o primeiro a perceber que a estrutura atômica pode ser revelada bombardeando-a com partículas nucleares, abrindo o caminho para os aceleradores de partículas. Na sua famosa palestra de abertura de 1927 como presidente da Royal Society, ele disse: *“O avanço da ciência depende em grande medida do desenvolvimento de novos métodos técnicos e sua aplicação ... Do ponto de vista puramente científico, o interesse é principalmente centrado na aplicação de tubos de vácuo a potenciais elevados, a fim de obter uma grande produção de electrões e átomos a alta velocidade ... Isto vai abrir um campo de investigação extraordinariamente interessante, que não deixará de nos fornecer informações de grande valor, não apenas na constituição de núcleos atômicos, mas em muitas outras direcções”*

Hoje é fácil reconhecer o quão bom profeta ele foi!

### Breve descrição de aceleradores

Os aceleradores podem ser de dois tipos:

A. *Linacs* - Aceleradores lineares, onde uma sequência linear de cavidades de RF fornece a aceleração numa só passagem. Quanto maior o número de cavidades maior é a energia alcançada, e consequentemente maior é o tamanho e o custo dos aceleradores.

B. *Aceleradores circulares*, onde o feixe passa pelas mesmas cavidades milhões de vezes, até atingir a energia máxima. Em máquinas, como o LHC, de 27 km de comprimento, a zona das cavidades é muito curta, uma dezena de metros. Quase todo o comprimento é preenchido com ímanes.

Um acelerador de partículas possui quatro componentes principais:

- Um tubo de vácuo, em que as moléculas e os átomos são removidos, até um nível de  $10^{-7}$  a  $10^{-11}$  mbar (ou seja, quase um milhão de biliões de vezes menos moléculas por unidade de volume do que no ar atmosférico)
- Um campo eléctrico que acelera as partículas (que são carregadas eléctricamente).
- Um campo magnético que curva a trajetória das partículas (campo dipolar gerado por um íman de dois pólos)
- Vários tipos de campo magnético como quadrupolos (ímanes de quatro pólos) que focam o feixe de partículas, evitando que elas se dispersem e eventualmente atinjam o tubo de vácuo.

As pequenas partículas subatómicas formam-se no acelerador como uma nuvem longa e fina, apelidada feixe de partículas. O feixe geralmente não é contínuo: as partículas são agrupadas em pacotes. O feixe de partículas aceleradas pode ser usado para bombardear um alvo fixo (geralmente uma folha fina sólida, uma câmara de gás, ou um alvo sólido ou líquido espesso). Nos anos 60, Bruno Touschek propõe e realiza o primeiro colisionador de partículas, AdA em Frascati (Itália), onde um feixe é acelerado e embatido contra um outro feixe viajando na direcção oposta. A partir de então, quase todos os aceleradores com recorde de energia são colisionadores. Os campos eléctricos tratam de dar velocidade (momento) às partículas: normalmente têm a forma de ondas eletromagnéticas, com frequência na faixa de ondas de rádio / TV e até microondas.

Todos eles são chamados campos de radiofrequência (RF), porque antes era utilizada a frequência de 10-200 MHz. No entanto os aceleradores modernos utilizam frequências de dezenas de GHz (bem na faixa de microondas). Essas ondas eletromagnéticas estão contidas numa caixa metálica em vácuo, a cavidade de RF, tal como uma onda acústica é contida num tubo de órgão. Cada vez que o feixe passa através da cavidade, as partículas recebem um impulso, se tiver entrado em

fase com a onda estacionária da cavidade. Muito parecido com o que acontece a um surfista empurrado para a frente, enquanto permanecer na crista da onda.

Uma cavidade pode fornecer uma energia de 1-10 MeV (Mega electron-Volt). Para alcançar energias de Giga electron-Volt (GeV) ou Tera electron-Volt (TeV, a magnitude de energia do LHC), é necessário fazer passar o feixe através da cavidade milhares ou milhões de vezes.

Os *campos magnéticos* são necessários para guiar as partículas. O primeiro tipo de ímanes que encontramos é o campo dipolar uniforme, que curva a trajetória das partículas. Uma série de dipolos mantém as partículas numa pista circular. Quanto mais poderoso é o íman dipolo, maior é a força centrípeta (força de Lorentz) que actua na partícula e maior pode ser a energia das partículas numa trajetória com um dado raio.

Num acelerador circular, a energia das partículas que podem manter-se em circulação é dada pela relação (na aproximação relativista):  $E_{\text{beam}} = 0,3 B R$ , em que B é o valor do campo magnético e R é o raio da trajetória seguida pela partícula. No caso do LHC o campo magnético máximo é de 8.3 Tesla e o raio de 2.8 km, o que resulta numa energia máxima de 7 TeV para cada feixe; equivalente a uma aceleração fornecida por uma tensão eléctrica de 7 milhões de milhões de Volts!

As cavidades RF do LHC proporcionam cerca de 1 MV, o que significa que o feixe tem que passar por elas milhões de vezes para atingir a energia máxima. Graças à força de flexão da trajetória desenvolvida pelos seus 1232 dipolos, cada um com 15 m de comprimento, e preenchendo 18 km dos 27 km do acelerador, as partículas são mantidas na pista à medida que são aceleradas.

Os campos magnéticos tem a função de estabilizar o feixe contra quaisquer pequenos desvios das trajetórias ideais. Como um motorista de carro que mantém o veículo na estrada por ajustes subtis e contínuos do volante, entre os dipolos é necessário colocar os quadrupolos (composto por quatro pólos magnéticos) para combater as inevitáveis imperfeições da trajetória.

Sem quadrupolos qualquer máquina, mesmo um Linac, não pode funcionar porque o feixe diverge rapidamente e acaba por se perder contra a câmara de vácuo. No LHC, o tamanho do feixe é de cerca de 1 mm, possível graças aos 400 quadrupolos. Assim, o feixe no LHC consiste numa série de pacotes cilíndricos, de 1 mm de diâmetro e 20 a 30 cm de comprimento, espaçados de 7,5 m (25 nanossegundos no tempo) entre si. Há cerca de 2 800 pacotes, em cada um dos dois anéis de 27 km de comprimento, e circulando em direcções opostas.

Existem muitos outros tipos de ímanes: sextupolo (6 pólos), e assim por diante, até os dodecapolo (12 pólos), sendo cada tipo de íman utilizado para a correção de instabilidades específicas.

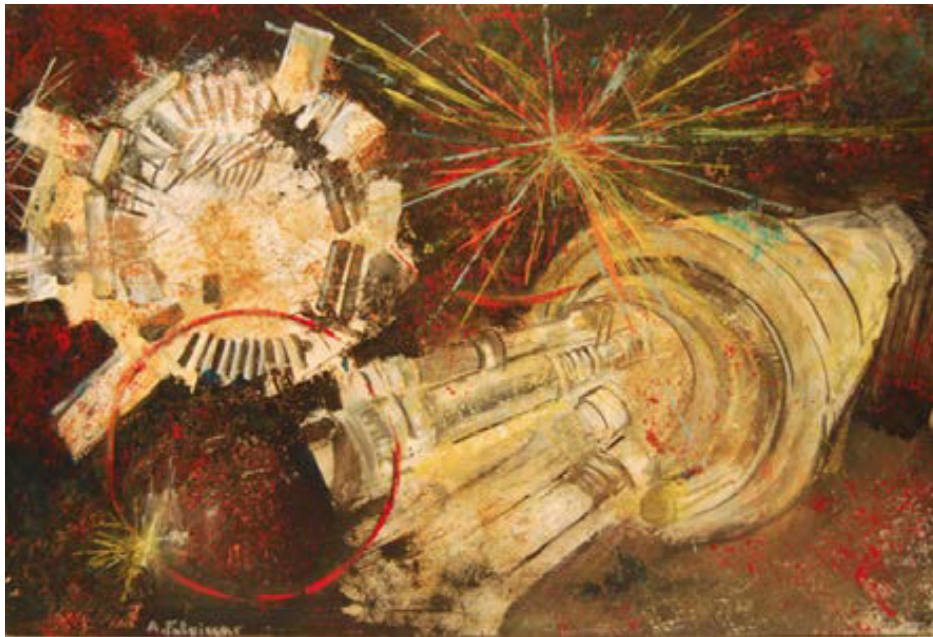
## A cadeia de aceleração do LHC

Olhando para o complexo dos aceleradores do CERN vemos que o LHC é o maior e último membro de uma cadeia de aceleradores. As moléculas de hidrogénio gasoso, extraídas de uma botija, são ionizadas por meio de uma descarga eléctrica, formando assim um plasma (um gás de partículas carregadas como no sol). Os núcleos de hidrogénio carregados positivamente (protões) são separados dos electrões pela acção de campos eléctricos estáticos, formando um feixe que é acelerado até 50 MeV por um Linac com cerca de 30 m de comprimento.

O feixe é depois enviado a um acelerador circular de 150 m de comprimento (PS Booster), que o acelera até 1 400 MeV (1.4 GeV). Em seguida, o feixe é guiado para o Proton Synchrotron (PS), de 600 m de circunferência, o mais antigo dos aceleradores do CERN (inaugurado em 1959). Este tem a função de acelerar o feixe de protões até 25 GeV. Depois é injectado no Super Proton Synchrotron (SPS)<sup>4</sup> de 7 km, e acelerado a 450 GeV.

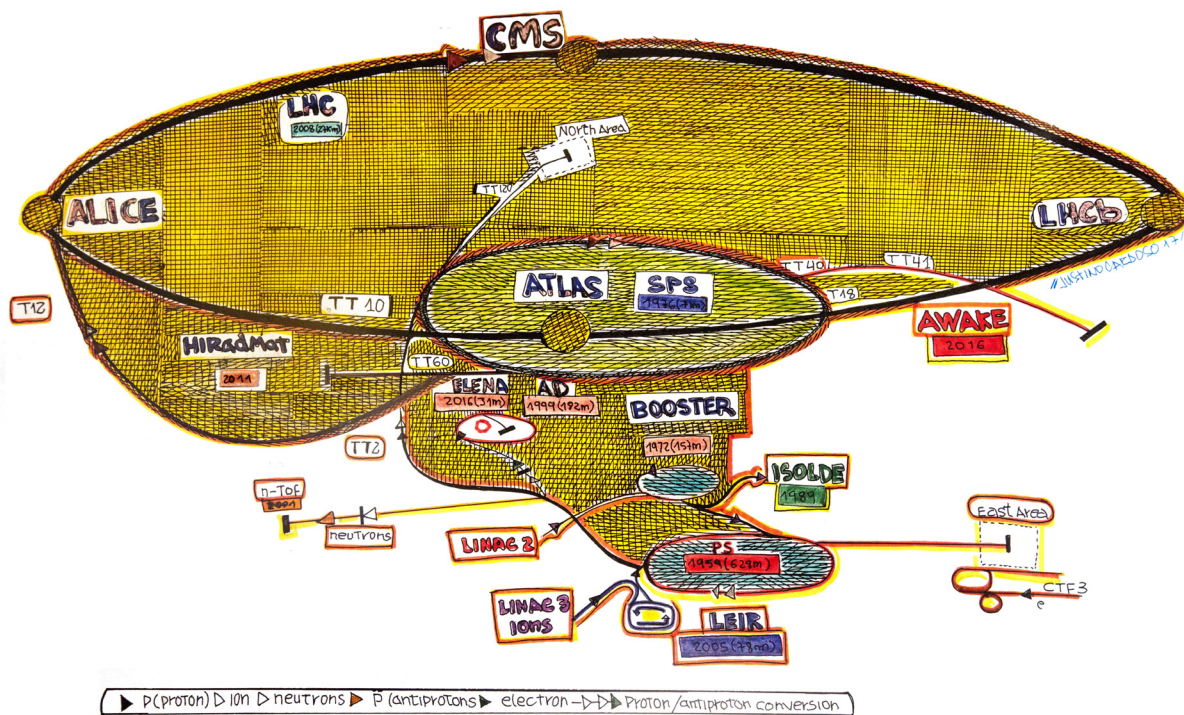
No final, após passar por SPS, os protões são injectados no LHC: em pacotes que circulam em direcções opostas e são acelerados até 7 000 GeV, ou seja, 7 TeV, para libertar na colisão frontal 14 TeV de energia no centro de massa.

<sup>5</sup>SPS foi transformado por um curto período num colectador de protões-antiprotões, o que permitiu observar em 1983 os bosões, Z e W trazendo o prémio Nobel em 1984 a Carlo Rubbia e Simon van der Meer.



“Congettare circolari” Angelo Falciano 2011, Acrílico sobre Malkarton

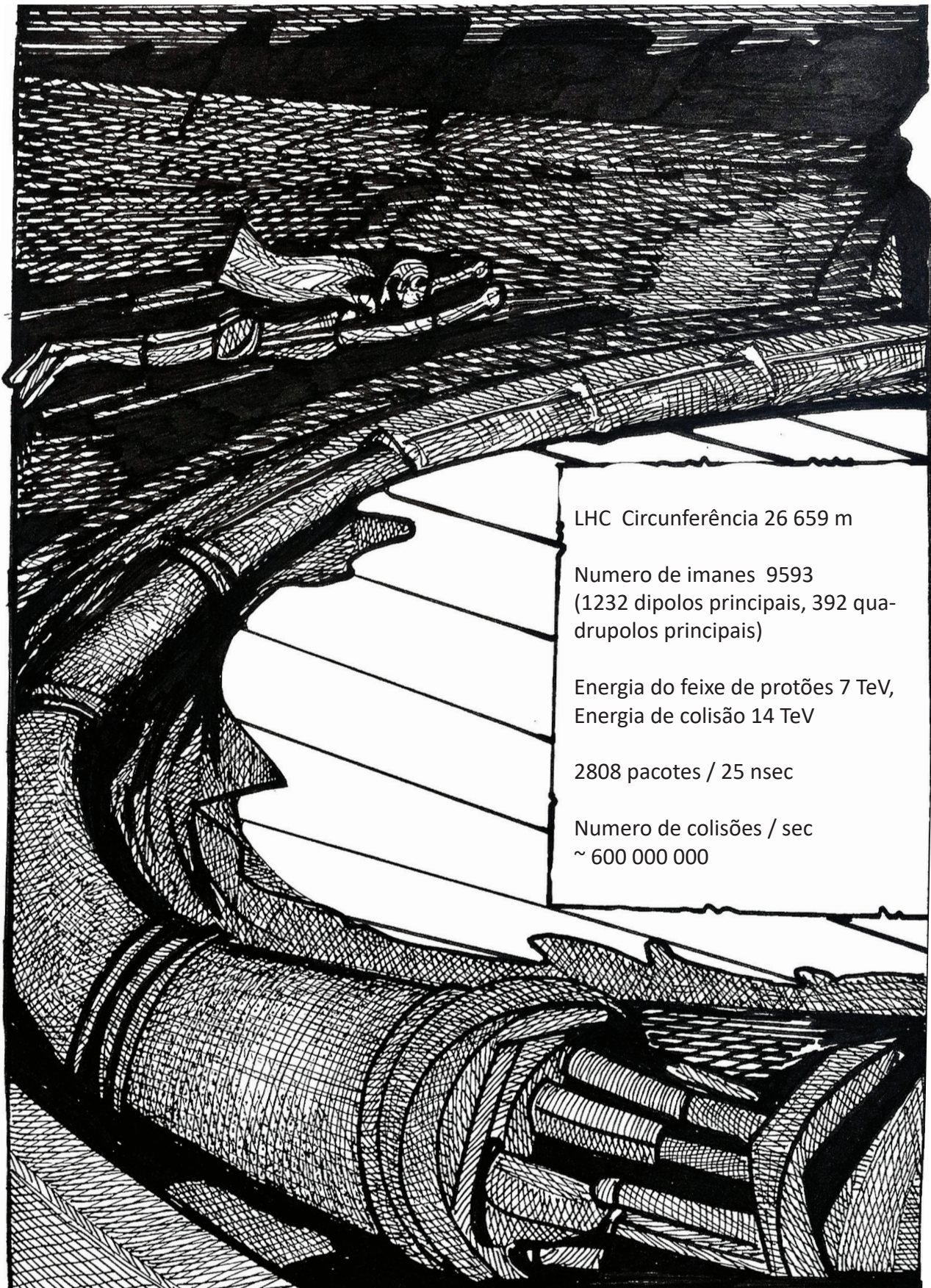
No acelerador, as partículas correm a grande velocidade do conhecido para o desconhecido.



“CERN’s accelerator complex” Justino António Cardoso 2015, Tinta da china em cor ( foto CERN OPEN-PHO-ACCEL-2016-013-1)

A cadeia de aceleração do LHC inclui: o Linac2, o PS Booster (PSB), o Síncrotron Protón (PS) e o Síncrotron SuperProtón (SPS) que se conecta ao Large Hadron Collider (LHC) através dos túneis T12 e T18.





LHC Circunferência 26 659 m

Numero de imanes 9593  
(1232 dipolos principais, 392 qua-  
drupolos principais)

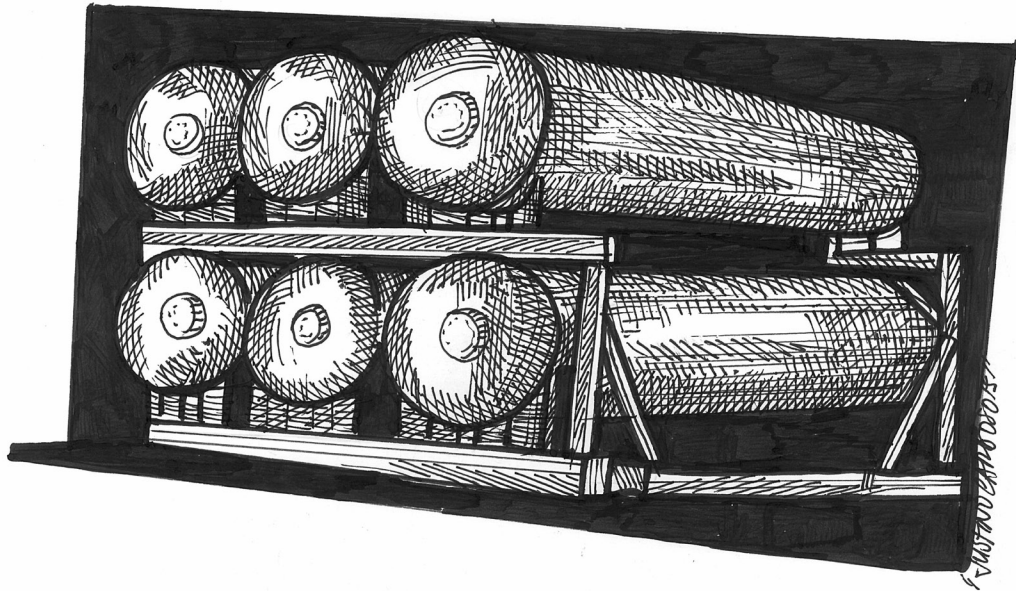
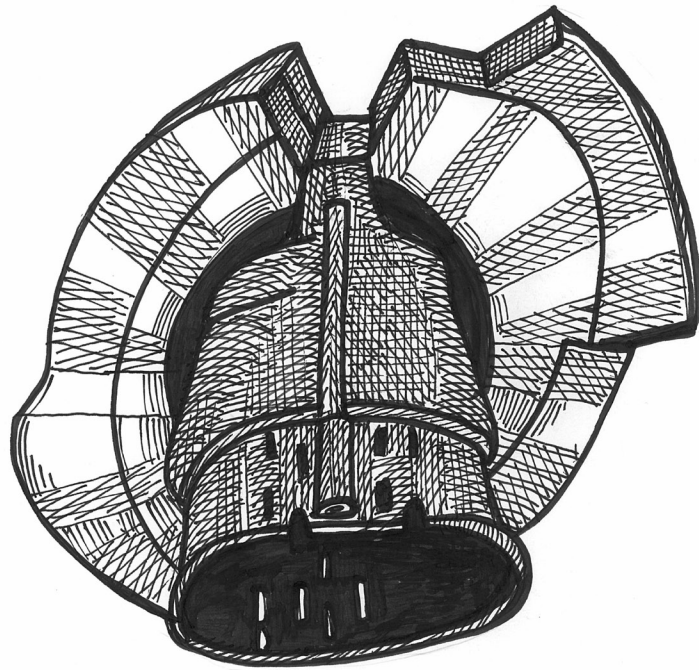
Energia do feixe de prótons 7 TeV,  
Energia de colisão 14 TeV

2808 pacotes / 25 nsec

Numero de colisões / sec  
~ 600 000 000

“Energetic protons in a circular collider” Justino António Cardoso 2015, *Tinta da china*





**"Superconducting coils of an LHC magnet and vacuum beam pipe"** Justino António Cardoso 2015, *Tinta da china*

**"Tanks of liquid helium to cool LHC"** Justino António Cardoso 2015, *Tinta da china*

Toda a cadeia de aceleradores tem mais de 40 km de comprimento, dos quais 27 km pertencem ao túnel do LHC. Enquanto as primeiras máquinas estão localizadas na superfície, o SPS está num túnel de 40 m de profundidade. Os dois túneis de injeção, TI2 e TI8, que conectam o SPS com o LHC, cada um com mais de 3 km de comprimento, guiam o feixe de 40 a 100 m de profundidade.

Cada peça desta máquina complexa é uma maravilha e as dezenas de milhares de equipamentos complexos têm que trabalhar juntos para levar os prótons da botija de hidrogénio para colidir nas experiências do LHC a 14 TeV e gerar o bóson de Higgs!

## **Uma tecnologia inovadora: a supercondutividade**

A busca de energias mais elevadas não pode ser satisfeita apenas pelo gigantismo: existe um limite para o tamanho de um acelerador. Uma maneira de limitar o tamanho é aumentar o campo magnético (campo mais intenso equivale a maior energia). Num supercondutor a resistência eléctrica é nula, e por isso num cabo supercondutor podemos enviar uma enorme corrente sem qualquer dissipação de energia: no LHC alimentamos os ímanes com correntes de 12 000 Amperes sem gerar calor na bobina. Graças à supercondutividade, os ímanes do LHC são cinco vezes mais fortes que os ímanes dos aceleradores de tecnologia clássica. O coração supercondutor do LHC são os 300 000 km de um fio supercondutor de um milímetro, composto de milhares de filamentos finos da preciosa liga Nb-Ti (nióbio-titânio), numa matriz de cobre muito puro. Há 2 100 milhões de quilómetros de filamentos supercondutores nos ímanes do LHC. O suficiente para ir ao Sol e regressar sete vezes!

A maravilha da supercondutividade porém tem um preço: a liga supercondutora usada no LHC, Nb-Ti, requer a surpreendente temperatura de  $-271\text{ }^{\circ}\text{C}$ , mais fria do que no espaço profundo, e alcançada graças ao hélio superfluido. O LHC é a maior instalação criogénica do mundo, e os seus enormes refrigeradores consomem cerca de 50 MW. Não é uma quantidade trivial. No entanto, um LHC sem supercondutividade, com tecnologia de ímanes clássica teria exigido um anel de 100-120 km, com consumo eléctrico de cerca de 1 000 MW, a potência fornecida por uma central nuclear de tamanho bastante grande. A supercondutividade é decisiva e foi um bom investimento, do ponto de vista tecnológico, económico e ambiental.

## **Física moderna**

### **1 - Relatividade**

Uma característica interessante dos aceleradores é a manifestação macroscópica de efeitos previstos pela física moderna. Empurrar as partículas muito próximas da velocidade da luz significa que tudo o que foi previsto por Einstein pode ser observado macroscopicamente. As partículas, quando se aproximam da velocidade da luz, aceleram cada vez menos, saturando a sua velocidade. Elas começam a aumentar em massa (precisamente, elas aumentam em impulso e quantidade de movimento ou momento linear). Detectamos esse efeito facilmente, porque se não tomarmos as contramedidas necessárias, perdemos as partículas no feixe. Ao aumentar a sua massa, elas deslocar-se-iam fora da órbita porque a velocidade, a massa e o campo são finamente sincronizados, como aconteceu a Ernst O. Lawrence o inventor do primeiro acelerador circular quando nos anos 1930 começou a construir o ciclotrão. Outro efeito interessante é que, quando uma partícula instável (i.e., de vida curta) é acelerada, a sua vida é expandida, seguindo exactamente a previsão da relatividade de Einstein do *annus mirabilis 1905*.

### **2 - Microscópios e Mecânica Quântica**

Os aceleradores podem ser vistos como super-microscópios que nos permitem penetrar no mundo do infinitamente pequeno. A resolução de um microscópio, sem ter em conta todos os limites técnicos e imperfeições, é limitada pelos efeitos de difracção do comprimento de onda. Essa é a razão pela qual, com a luz visível, estamos limitados a cerca de 500 nanómetros (nm). No entanto, se empregarmos raios-X, ondas eletromagnéticas da mesma natureza da luz, mas com um comprimento de onda muito mais curto, de 0,1 a 1 nm, podemos visualizar os átomos,



que estão na mesma ordem de grandeza. A mecânica quântica ensina-nos que as partículas se comportam como ondas com  $\lambda = hc / E$ , onde  $h$  é a constante Planck e  $c$  é a velocidade da luz. Quanto maior a energia da partícula, menor é o comprimento de onda associado. Acelerando as partículas até 7 TeV, o LHC usa um “comprimento de onda” de  $10^{-19}$  m, ou seja, um bilionésimo inferior ao 0,1 nm acessível com microscópios electrónicos. O LHC com as suas experiências investiga dimensões menores do que os átomos e os núcleos atómicos, dez mil vezes menores que o protão!

Portanto o LHC leva-nos à infância do universo, quando era tão pequeno, ou seja, cerca de um milésimo de bilionésimo de segundo após o Big Bang!

## Que futuro para os aceleradores HEP

Os aceleradores não são usados apenas para física de alta energia. Milhares de aceleradores são usados na Indústria e Medicina e centenas são usados para pesquisas aplicadas, principalmente para produzir radiação de sincrotrão. Apenas algumas dezenas de aceleradores são utilizados para pesquisas básicas em física de partículas e nuclear. Sem dúvida, a física de partículas é o principal motor de inovação tecnológica no domínio dos aceleradores.

Então, qual é o próximo passo depois do LHC? Primeiro, há o LHC de alta luminosidade (HL-LHC **H**igh **L**uminosity **L**H**C**). Este projecto baseia-se em novos ímanes supercondutores, aproximadamente 50% mais potentes que os do LHC, para aumentar o número de colisões. É como ligar uma luz mais poderosa para iluminar uma sala: podemos ver muito melhor e descobrir detalhes que de outro modo estariam escondidos. O HL-LHC, agora em preparação, será instalado em 2024-26 e estará em operação até cerca de 2040.

Enquanto isso, uma grande rede de laboratórios e instituições de todo o mundo está a colaborar com o CERN para estudar as novas máquinas que marcarão a era pós-HL-LHC. Dois projectos gigantes parecem favoritos na corrida:

1. Um colisionador linear electrão-positrão: dois projectos estão a competir nesta área. Um é o ILC (**I**nternational **L**inear **C**ollider), uma máquina de 30 km de comprimento com cavidades supercondutoras; o outro nomeado CLIC (**C**ompact **L**inear **C**ollider) com cavidades RF de alta frequência (12 GHz), uma abertura de feixe milimétrica e uma precisão de alinhamento na ordem do nanómetro, ao longo de um túnel de 50 km. Enquanto o ILC está limitado a 0.5-1 TeV, o CLIC poderá atingir 3 TeV no centro de massa, no entanto, com consumos eléctricos muito altos, 600 MW (sem supercondutividade!)

2. Um **F**uturo **C**olisionador **C**ircular (FCC), num anel de 100 km. A utilização de ímanes supercondutores poderosos, duas vezes mais poderosos do que os de LHC, permitirá obter colisões protão-protão a 100 TeV de energia no centro de massa. Alcançar essa energia inimaginável, o novo Santo Graal da Física de Altas Energias após a descoberta do bosão de Higgs, depende fortemente do desenvolvimento de uma nova tecnologia supercondutora para ímanes, que devem ser mais poderosos e resistentes do que no LHC. O desenvolvimento da tecnologia de ímanes para o FCC está a começar, baseando-se nos resultados obtidos com o HL-LHC, o primeiro passo além do LHC.

Qual desses dois aceleradores ganhará a corrida? Difícil de prever.

Para preparar a actualização da Estratégia Europeia para a Física de Partículas de 2020, um processo que envolve todos os principais laboratórios europeus, o CERN lançou um estudo completo do FCC incluindo também o estudo de geologia dos 100 km de túnel e de engenharia civil, os seus formidáveis problemas que precisam ser abordados, tais como passar por baixo do Lago de Genebra e várias cadeias de montanhas. O final desta década é o momento ideal para tomar decisões, uma vez que os resultados do LHC Run 2 (2015-2019) estarão disponíveis e certamente não é muito cedo para preparar os aceleradores da próxima geração após 2040, pois estes são projectos com ciclos de desenvolvimento de vinte anos.

Por fim, esperamos que a nova tecnologia que estamos a desenvolver agora para o LHC de Alta Luminosidade (HL-LHC) entrará no domínio aplicado muito em breve, por exemplo nos sectores da medicina e das energias renováveis.





"A look into the future" Justino António Cardoso 2015, *Tinta da china*





**“Quarks”** Margarita Cimadevila 2006, Acrílico y media mixta sobre tela  
[www.cimadevila.tk/](http://www.cimadevila.tk/)

De acordo com o modelo Quark, as partículas de interação forte (adrons) combinam-se em grupos de dois e três quark-antiquark (meson) ou três quarks (barión). As partículas que não podem ser classificadas de acordo com esse esquema são partículas exóticas, tetra-quark e pentaquark. Em 2016, a experiência do LHCb confirmou a existência de pentaquarks, uma descoberta anunciada em 2015.





**“Simon van der Meer e Carlo Rubbia festejam a atribuição do Prêmio Nobel de 1984 com um brinde no CERN”** (CERN-PHOTO-8410523 1984)

*O Prêmio Nobel de Física é atribuído em 1984 em conjunto a Carlo Rubbia e Simon van der Meer “pelo contributo decisivo para o grande projeto que levou à descoberta das partículas W e Z, mediadores da força de interação fraca”.*



**“François Englert and Peter Higgs at CERN in 2012”** Islam Mahmoud Sweity 2014, *Desenho a carvão vegetal* (de uma foto de M. Brice/ CERN).

*O Prêmio Nobel de Física 2013 é atribuído conjuntamente a François Englert e Peter Higgs “pela descoberta teórica do mecanismo que contribui para o nosso entendimento da origem da massa de partículas sub-atômicas, e que recentemente foi confirmado através da descoberta da particular fundamental prevista, nas experiências ATLAS e CMS no Large Hadron Collider do CERN”*

## Físicos e experiências

Ana Henriques Correia e João Martins Correia

A história que vos contamos aqui é sobre o CERN com seus aceleradores gigantes e grandes detetores de partículas e, também, como essa infraestrutura única no mundo traz ideias práticas e úteis noutros campos da ciência, e produz uma engenharia desafiante e aplicável à nossa vida quotidiana. Começemos por apresentar as experiências realizadas no maior acelerador de partículas do mundo o LHC, onde são aceleradas partículas a muita (muita!) alta energia. Ao colidirem, as partículas aceleradas partem-se libertando desta forma os pequeníssimos “tijolos” originais da matéria. Usando máquinas e detetores sofisticados, o CERN recria processos que ocorreram muito cedo na história do Universo.

**ATLAS (A Toroidal LHC ApparatuS)** e **CMS (Compact Muon Solenoid)** são as duas maiores entre as quatro principais experiências no LHC. São experiências de física de partículas de objetivos genéricos, desenhadas para explorar o enorme potencial de descoberta que a energia do LHC proporciona. ATLAS possui o detetor de maior volume já construído para um colisionador de partículas, com dimensões cilíndricas de 46 m de comprimento e 25 m de diâmetro. Pesa 7 000 toneladas, semelhante ao peso da Torre Eiffel, e fica dentro de uma caverna subterrânea a 100 m de profundidade. Em comparação, o detetor CMS tem “apenas” 21 metros de comprimento, 15 metros de diâmetro e é construído em torno de um enorme íman solenoide que gera um campo magnético de 4 tesla, cerca de 100 000 vezes o campo magnético da Terra. O campo é confinado por uma cofragem de aço que constitui a maior parte do peso do detetor, 14 000 toneladas, o dobro do peso da Torre Eiffel! Estes detetores são constituídos por vários instrumentos montados em camadas sucessivas e com funções bem específicas. Estas camadas de equipamentos complexos foram projetadas para detetar seletivamente algumas das partículas mais ínfimas em tamanho, mas das mais energéticas que já foram criadas na Terra. Consistem em diferentes subsistemas de deteção dispostos concentricamente (como uma cebola) em redor do ponto de colisão para registrar a trajetória, o impulso e a energia das partículas, permitindo que sejam individualmente identificadas e medidas. Grandes sistemas magnéticos curvam as trajetórias das partículas carregadas, para que a sua massa e velocidade possam ser medidas com a maior precisão possível.

Antes de realizar as colisões, as partículas são empacotadas e aceleradas no túnel LHC, ao longo de 27 km, a uma velocidade próxima de 99,999999% da velocidade da luz. Então, de tempos a tempos, as trajetórias das partículas são ajustadas para colidir no centro dos detetores do LHC. Quando isso acontece, parte da energia da colisão é transformada em massa, criando partículas de curta duração que saem para fora do tubo do acelerador voando em todas as direções dentro do detetor. Algumas destas partículas nunca antes foram observadas e poderão dar pistas sobre como a natureza se comporta ao nível fundamental. Mais de um bilião de interações de partículas ocorrem no centro do detetor a cada segundo, uma montanha de dados equivalente a 20 conversas telefónicas simultâneas realizadas por cada pessoa na Terra. Apenas uma das colisões num milhão é marcada como potencialmente interessante e guardada para mais estudos. Atlas e CMS puderam anunciar no dia 4 de julho de 2012 a descoberta do Boson de Higgs com uma energia de massa em repouso de 126,5 GeV.

Agora, as experiências do LHC estão analisando as propriedades e as características do Bosão de Higgs, explorando colisões de prótons contra prótons (que na realidade são núcleos de hidrogénio) a energias ainda mais altas e também colisões de prótons contra núcleos de um elemento pesado, o chumbo.

**LHCb (Large Hadron Collider beauty)**, outra experiência do LHC, está estudando o que aconteceu nos primeiros segundos após o Big Bang, aquando do nascimento do universo, quando a antimatéria desapareceu, deixando unicamente a matéria para construir o mundo em que vivemos e que nos rodeia. Certamente insuspeitado para a maioria de nós, o nosso mundo e a nossa existência são na verdade um tremendo mistério cósmico!





**“ATLAS Remeshed-Higgs Boson”** Davide Anghelddu 2016, *Fibras de vidro e acrílico* 1.5 m de comprimento

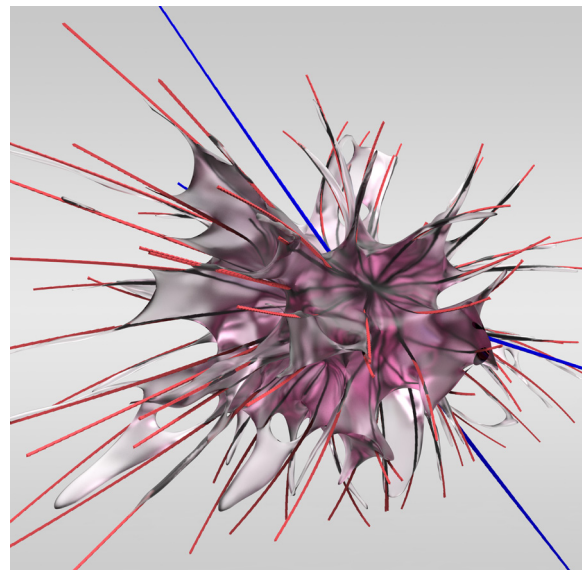
*Representação 3 D do Boson de Higgs criada a partir da simulação gráfica fornecida pelo experimento ATLAS. O Boson de Higgs é materializado pelos 2 muões e 2 elétrons representados em azul. A escultura foi feita em 3 fases:*

- 1) a partir da simulação, usando um procedimento gráfico e um algoritmo remeshing, é criada uma escultura em modelo virtual;*
- 2) sinterização laser para obter um modelo de nylon de alta precisão;*
- 3) usando o antigo método de cera perdida, a escultura final pode ser feita no material escolhido.*

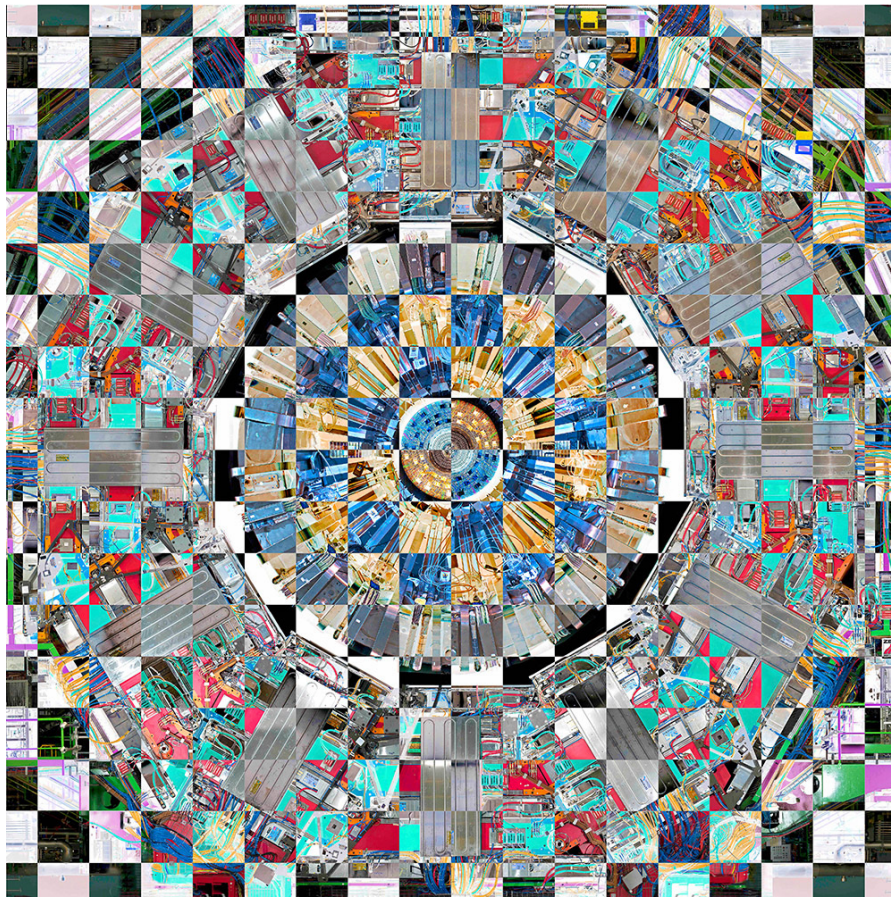
*Escultura apresentada na exposição “Extreme in search of particles” organizada em Julho de 2016 em Milão pelo Museu Nacional de Ciência e Tecnologia Leonardo da Vinci em parceria com CERN e INFN. Escultura e vídeo que mostram o processo de remasterização foram apresentados em novembro de 2016 na Grunwald Art Gallery , Indiana University, Bloomington.*

**“ATLAS Remeshed-Higgs Boson”**

Davide Anghelddu 2015  
impressão fotográfica







**“Matter-Anti-Matter, symmetry 4”** Michael Hoch, 2012 *composição fotográfica sobre Alu Dipond 100 cm x 100 cm*, que se baseia no detector CMS (Compact Muon Solenoid).

*CMS é um dos detectores de partículas de LHC, tem o tamanho de um edifício de seis andares e contém elementos de detecção que podem ter a largura de um cabelo humano.*

*Michael Hoch, fundador de art @CMS, recebeu o Prêmio de divulgação 2017 na conferência EPS-HEP 2017 em Veneza, da divisão de física de partículas e alta energia da “Sociedade Física Européia” para as iniciativas destinadas a destacar a beleza conceitual e física da física de alta energia e a inspiração que une a arte com a ciência “. O comitê reconheceu “o talento excepcional de Michael Hoch em trazer aspectos científicos à atenção do público ...”*

*art @ CMS é um programa educacional do experimento CMS no Large Hadron Collider (LHC), no CERN. É uma colaboração entre a comunidade científica em física de alta energia e artistas, comunidades de arte, museus, professores de arte e professores de ciências. O projeto tem a intenção de construir uma ponte entre arte e ciência para tornar o trabalho de CMS e do CERN conhecido por um público mais amplo.*

*Consiste em 2 módulos complementares:*

*- Exposição art @ CMS: para criar um diálogo entre a comunidade científica em Física de Alta Energia e comunidades artísticas, criar e apresentar obras de arte por artistas que fazem parte deste módulo e facilitando exposições coletivas e individuais em todo o mundo.*

*- Workshops SciArt (Science & Art @ School): um laboratório interdisciplinar projetado por aproximar através de uma pesquisa artística estudantes de arte e ciência de escolas e universidades ao mundo científico de física de partículas e pesquisas fundamentais.*

*Tentando atuar como uma fábrica de idéias, o art @ CMS quer ser uma plataforma para aprender e compartilhar.*

<https://artcms.web.cern.ch>

Quando a antimatéria e a matéria entram em contato, o resultado é dramático. Num piscar de olhos, ambas desaparecem, se autodestroem em luz de alta energia. Esse relacionamento destrutivo suscita algumas questões intrigantes. Por exemplo, se a matéria e a antimatéria foram criadas em quantidades iguais durante o Big Bang, porque nos encontramos vivendo num Universo feito unicamente de matéria? Qual foi o mecanismo desconhecido que evitou que a matéria e a antimatéria se aniquilassem completamente? O LHCb foi concebido para estudar as pequenas assimetrias entre matéria e antimatéria, usando partículas conhecidas como “beauty-quarks”, (quarks-beleza). Embora ausentes do Universo de hoje, este tipo de quarks era comum nos resíduos do Big Bang, e são gerados em bilhões dentro do LHCb, juntamente com os seus correspondentes de antimatéria, os anti-quarks-beleza. Estudando com uma precisão sem precedentes a ligeira diferença de decaimento entre o quark-beleza e sua antipartícula, o LHCb estuda e tenta esclarecer um dos mistérios mais fundamentais do Universo. Recentemente o LHCb reportou a observação de  $\Xi_{cc}^{++}$  ( $\Xi_{cc}^{++}$ ), uma nova partícula contendo dois quarks Charm e um quark Top. A massa da partícula recentemente identificada, um barião duplamente pesado, é de cerca de 3 621 MeV, que é quase quatro vezes mais do que o próton.

**ALICE (A Large Ion Collider Experiment)**, outra grande experiência do LHC, está investigando a existência e propriedades da fusão de prótons e nêutrons que, em condições extremas de temperatura e densidade, libertam os quarks e glúons da sua forte ligação. Compreender como o plasma quark-gluão é formado é um dos objetivos de ALICE. A matéria comum é feita de átomos, cada um dos quais consiste num núcleo rodeado por uma nuvem de elétrons. Os núcleos são então feitos de prótons e nêutrons, que, por sua vez, são feitos de quarks. Para constituir os prótons ou os nêutrons, os quarks unem-se por uma força conhecida como a interação-forte, mediada pela troca de partículas chamadas glúons. Nenhum quark (nem glúon) foi alguma vez observado isoladamente; os quarks, bem como os glúons, parecem estar ligados permanentemente e confinados dentro de partículas compostas, como os prótons e os nêutrons. Este processo é conhecido pelo nome de “confinamento”. Embora grande parte da física da interação forte seja bem compreendida, duas questões muito básicas ainda não estão resolvidas: a origem do confinamento e o mecanismo de origem da massa. Os prótons e os nêutrons são conhecidos por serem feitos de três quarks, mas, adicionando as massas dos três quarks, obtém-se apenas cerca de 1% da massa dos prótons ou dos nêutrons. De onde vêm os restantes 99%?

A teoria atual da interação forte (chamada cromodinâmica quântica) prevê que a temperaturas e densidades muito altas, quarks e glúons não deveriam ficar confinados dentro de partículas compostas. Em vez disso, eles deveriam existir livremente num novo estado de matéria conhecido como plasma de quark-gluão. Essa transição deve ocorrer quando a temperatura excede um valor crítico estimado, cerca de 100 000 vezes mais quente do que o núcleo do Sol! Tal temperatura não existe na Natureza desde o nascimento do Universo, mas esperamos induzi-la com a colisão frontal de núcleos pesados (por ex. de chumbo) acelerados pelo LHC a uma velocidade próxima da velocidade da luz. Desta forma, os cientistas são capazes de obter - num pequeno volume de apenas do tamanho de um núcleo e durante um instante fugaz - uma muito pequena quantidade de matéria primordial e observá-la à medida que ela reverte para a matéria comum através de expansão e arrefecimento. Assim, a experiência ALICE é capaz de explorar profundamente (bem) a física do confinamento, investigando a geração da massa em interações fortes e entrever, num vislumbre rápido, como a matéria se comportou imediatamente após o Big Bang.

Além disto, as colisões frontais dos prótons no LHC fornecem um micro laboratório para investigar muitos fenómenos, incluindo os próprios prótons. A física dos prótons é o que experiência **TOTEM**, (**T**OTAL cross section, **E**lastic scattering and diffraction **M**asurement at the LHC), se propõe estudar, tendo sido projetada para explorar a seção transversal total, a dispersão elástica e medir a dissociação por difração no LHC. Ao fazer medidas precisas sobre partículas que emergem de colisões frontais, muito próximas da direção inicial dos feixes do LHC, TOTEM deteta fenómenos que não são facilmente acessíveis por outras experiências do LHC.



Através de uma série de estudos, TOTEM está medindo a probabilidade total, ou “seção transversal”, de interações próton-próton à escala do tamanho que um próton apresenta como “alvo”. A experiência também está investigando fenômenos de dispersão de prótons análogos à difração da luz.

Cerca de mais 20 instalações e projetos experimentais diferentes aproveitam os feixes de prótons acelerados e da organização, experiência e inovação tecnológica do CERN.

Entre esses, destacamos a tradição de longa data do CERN em **física de neutrinos**, agora desenvolvendo detectores para futuras experiências de neutrinos por todo o mundo.

O CERN também investiga antimatéria desde há muitos anos na instalação **Antiproton Decelerator (AD)**. Recentemente, foi inaugurado um anel **ELENA (extra low energy antiproton)** para produzir anti-prótons de energia extremamente baixa para desacelerar os antiprótons produzidos por AD, de 5,3 MeV a 100KeV. Os físicos serão capazes não só de produzir e capturar átomos de antimatéria, mas também de estudar com maior precisão as propriedades e interações fundamentais de íons de anti-hidrogénio, os anti-prótons, o hélio antiprotónico e o anti-hidrogénio em estado atômico livre ou ligado, na busca para saber se um mundo totalmente feito de anti-matéria seria igual ao nosso, como uma imagem perfeitamente espelhada.

Na Zona Norte do CERN (North Area do acelerador SPS), a experiência **NA64** usa feixes de elétrons na busca de decomposições visíveis e invisíveis de fótons “escuros”, que são partículas elementares hipotéticas, propostas como suporte da força eletromagnética para a dita “matéria escura” do universo.

Com **CAST (CERN Axion Solar Telescope)**, o Telescópio Solar de Axiões, os investigadores estão a tentar detetar “axiões” ou “camaleões” solares, partículas teóricas que, se existirem, podem ser responsáveis pela matéria e a energia “escura” que compõem cerca de 95% do universo e que podem originar-se no plasma de alta temperatura de 16 milhões de graus no núcleo do sol.



“Chameleon an hypothetical scalar particle” Justino António Cardoso 2015, Tinta china

Camaleões, partículas propostas em 2003 por Justin Khoury e Amanda Weltman.



Num ramo de pesquisa bastante diferente todavia importante, cerca de 50 experiências por ano são feitas no separador de massa de isótopos **ISOLDE**. Trata-se de uma instalação única no mundo, que produz uma panóplia de núcleos radioativos a partir de prótons energéticos do Booster colidindo e separando materiais do alvo. Assim, o ISOLDE desempenha o papel das estrelas entregando núcleos radioativos exóticos aos investigadores que estudam física nuclear e atômica, ciências de materiais e ciências da vida. O ISOLDE foi recentemente atualizado em energia a fim de pós-acelerar núcleos radioativos, os quais ao colidirem com alvos específicos, produzem estados excitados recriando as condições de síntese nas estrelas. Uma das instalações mais antigas do CERN o ISOLDE permanece hoje na vanguarda mundial da produção de isótopos radioativos exóticos, dedicados à investigação fundamental em física nuclear, de materiais e molecular, usando e desenvolvendo técnicas nucleares radioativas únicas. Com a construção em curso das instalações **CERN-MEDICIS**, especialmente dedicadas à otimização em radio-diagnóstico e terapia do cancro, as capacidades das instalações do ISOLDE estão sendo ampliadas. Isto acontece dentro do conceito de colaboração MEDICIS-PROMED, visando o treino de uma nova geração de empresários científicos, que poderão unir diferentes disciplinas em instituições de pesquisa fundamental, empresas privadas e hospitais, o que é necessário para o marketing rápido de novos tipos de equipamento em empresas e de radiofármacos para tratamento do cancro em hospitais. Isso será feito usando feixes de íons radioativos, que até agora nunca foram usados, para obter lotes de novos produtos radiofármacos. Em 2017, pela primeira vez a instalação produziu radioisótopos para pesquisa médica.

Por fim, a experiência **CLOUD** (**C**osmics **L**eaving **O**utdoor **D**roplets) estuda como os raios cósmicos (partículas carregadas que bombardeiam a camada exterior da atmosfera terrestre) podem influenciar a formação das nuvens através da criação de aerossóis (pequenas partículas suspensas no ar que podem crescer e levar à geração de gotas nas nuvens) ou afetando diretamente as nuvens. As nuvens exercem uma forte influência no balanço energético da Terra; mudanças de apenas alguns por cento têm um efeito importante sobre o clima. No entanto, apesar da sua importância para o clima, a formação de aerossóis é pouco conhecida. Medir a microfísica subjacente em condições controladas de laboratório é importante para uma melhor compreensão do aerossol atmosférico e é a chave para desvendar a possível conexão entre raios cósmicos e nuvens. O Proton Synchrotron fornece uma fonte artificial de “raios cósmicos” que simula condições naturais entre o nível do solo e a estratosfera. Um feixe de partículas é passado através de uma “câmara de nuvens” e os seus efeitos dentro da câmara sobre a produção de aerossóis ou, sobre nuvens líquidas ou de gelo, são registrados e analisados.

Outro sinal do uso e utilidade global do CERN é a rede de computação do LHC. Os dados de colisões são produzidos numa quantidade sem precedentes desde o tempo das primeiras colisões, dezenas de petabytes por ano (1pB = 1 000 000 000 000 000 B, cerca de dois mil discos rígidos de 500 GB). Trata-se de um grande desafio, para serem analisados por uma infraestrutura de rede informática baseada na GRID que conectava 140 centros de computação em 35 países até 2012. A Grid Mundial de Computação LHC (WLCG) é hoje a maior rede de computação distribuída do mundo, que possui 170 instalações de computação numa rede mundial em 42 países. De facto, a missão do projeto WLCG é fornecer recursos computacionais globais para armazenar, distribuir e analisar os muitos petabytes de dados de LHC. Em 2017 apenas em um mês foram armazenados 12,3 petabytes de dados. Mas, as atividades da rede estão-se estendendo hoje a muitos projetos públicos que compreendem, entre outros, Proteção Civil, Ciências da Terra, Química Computacional e em Ciências da Vida, fornecendo computação para gestão e análise de dados médicos.

A única maneira de realizar projetos tão desafiantes, com os recursos intelectuais e financeiros necessários, e para maximizar sua produção científica é através de grandes colaborações internacionais com a participação de muitos milhares de pessoas. Emblemático desse modo de trabalho é a natureza universal das experiências no LHC, que atraíram participantes de mais de 100 nacionalidades de todos os continentes, incluindo a África. Os grandes fundos do projeto são investimentos de agências de financiamento dos países participantes.

Por exemplo, ATLAS e CMS (os maiores em número de participantes) contam com pequenas contribuições do CERN e recursos individuais de universidades. Para que o ATLAS e o CMS possam funcionar, as colaborações definem a liderança e uma estrutura organizacional que permite a autogestão das equipas, onde os membros são diretamente envolvidos nos processos de tomada de decisão.

Os cientistas geralmente trabalham em pequenos grupos, escolhendo as áreas de pesquisa e os dados que mais os interessam. Qualquer notícia da colaboração é compartilhada por todos os membros e está sujeita a processos rigorosos de revisão e verificação de factos antes que os resultados sejam tornados públicos. O sucesso da colaboração é, portanto, vinculado pelo compromisso individual com a física e com a perspectiva de novos e excitantes resultados que só podem ser alcançados com um esforço colaborativo completo e coerente de inúmeros cientistas, engenheiros, técnicos e funcionários administrativos.

Embora seja um mundo único de conhecimento, diversidade e complementaridade, que contribui em grande medida para o ensino académico, educacional e divulgação do estado da arte da ciência e da tecnologia, o CERN já está concentrado no futuro, ao mesmo tempo que amplia as capacidades do laboratório de pesquisa de física, além de liderar os conceitos estratégicos da futura física de altas energias, e explorar oportunidades para diversificar o seu portfólio de pesquisa (Physics Beyond Colliders Study Group). Isso é necessário já que o Modelo Padrão não pode explicar várias observações, tais como: a matéria escura, a prevalência da matéria sobre a antimatéria e a massa dos neutrinos.

Como disse em Janeiro 2017 a actual diretora-geral do CERN Fabiola Gianotti, *“Sabemos que há uma nova física, não sabemos onde está em termos de escala de energia e/ou acoplamentos, mas precisamos de ser o mais amplos possível na nossa abordagem exploratória, pois a diversidade científica é uma obrigação. Ao explorar as capacidades únicas do complexo e infraestrutura de aceleradores do CERN, complementando outros esforços no mundo e otimizando globalmente os recursos neste campo”*.

A criatividade e a inovação são necessárias para desenvolver os resultados de física, alcançar os parâmetros de acelerador necessários e realizar experiências sem precedentes. O tempo de execução significativo de cerca de vinte anos para a conceção e construção de um acelerador em larga escala requer um esforço coordenado. O objetivo é garantir a continuidade do programa mundial de física de partículas após a era do LHC. O LHC no CERN com a sua atualização de Alta Luminosidade é o instrumento principal no mundo para explorar a fronteira da energia até 2035. Isso define a janela de tempo para a preparação de uma infraestrutura de pesquisa de física de alta energia pós-LHC.



"Accelerators and detectors to understand the Universe" Justino António Cardoso 2015, Tinta da china



# CERN e as Tecnologias da Informação

*Frédéric Hemmer*

## O passado

A história dos computadores no CERN começa quase no início da Organização. A proposta de aquisição de um computador electrónico foi discutida na 3ª reunião do Comité de políticas científicas do CERN em Novembro de 1955, presidida por Werner Heisenberg, laureado com o Nobel de Física em 1932 pela criação da mecânica quântica. O primeiro computador instalado no CERN foi o Ferranti Mercury, que demorou dois anos a ser construído pelos engenheiros da Ferranti. Foi instalado no verão de 1958 e ocupava toda a sala de computadores. Tinha um ciclo de relógio de 60 microssegundos. Hoje em dia os processadores são centenas de milhares de vezes mais rápidos!

O próximo passo significativo da computação no CERN foi a aquisição do IBM 709, instalado em 1961. Tratava-se ainda de uma máquina baseada em de tubos de vácuo, e foi o primeiro computador a suportar a linguagem de programação FORTRAN (**Form**ula **Trans**lation). O 709 foi posteriormente atualizado para a sua versão transistorizada, o 7090. Durante o mesmo período, começaram a aparecer os mini computadores, geralmente conectados diretamente ao equipamento das zonas experimentais, gravando dados em cassetes que eram depois transportadas para o centro de computação para análise. No final da década de 60, mais de 50 mini computadores tinham sido instalados no campus do CERN.

É notável que naquela época já havia tentativas de conectar os computadores centrais às zonas experimentais através de sistemas de rede desenvolvidos localmente. O objectivo era a substituição do assim chamado “bicicleta on-line”, método de transporte de cassetes com prioridade de processamento para o centro de computação, com o intuito de obter resultados rapidamente para as experiências.

No mesmo período, ocorreu a instalação das primeiras máquinas CDC (**Control Data Corporation**) que levaram muito tempo a serem encomendadas, principalmente devido à falta de um sistema operacional estável. O início dos anos 70 foi marcado pela instalação do primeiro processador central com utilização partilhada, o CDC 7600. Durante 15 anos, o 7600 foi atualizado para vários modelos de Cybers, enquanto sistemas IBM (370/168, 3081, 3050, ES9000, etc.) foram comprados para complementar a capacidade de computação necessária para as experiências. Entretanto, um supercomputador Cray XMP, substituiu as máquinas CDC em 1988. A partir de 1982, a **Digital Equipment Corporation (DEC)**, que instalou centenas de PDPs (**Programmed Data Processor**) e VAXs (**Virtual Adress eXtension**) através do campus, começou a operar no centro de computação do CERN com serviços centrais baseados em VAX.

O início dos anos 90 viu a criação de novas estações de trabalho RISC da Apollo, DEC, HP, SGI, SUN e outros que anos mais tarde substituíram os supercomputadores. Estas novas máquinas tinham preços mais competitivos, maior velocidade do processamento e talvez ainda mais importante, grande capacidade de armazenamento do disco. Lentamente mas claramente, o número de computadores no centro de computadores do CERN cresceu de algumas dezenas nos anos 70 para várias centenas no final dos anos 90.

Ao mesmo tempo, as velocidades de processamento de computadores pessoais baseadas em arquiteturas Intel tornaram-se suficientemente rápidas (200 Mhz em 1997) para serem utilizados para processamento de dados em Física. Progressivamente computadores comerciais tornaram-se dominantes no centro de computação do CERN, que agora é composto por mais de 14'000 servidores, 200'000 núcleos de CPU (**central processing unit**) e 200 PB de armazenamento em cassetes.

*Para o presente*

## Redes de computadores

O CERN iniciou as comunicações informáticas nos anos 60. Desenvolveu vários sistemas (FOCUS, OMNET, CERNET, ...), antes de adoptar o padrão da indústria Ethernet que equipa hoje em

dia cada escritório, acelerador e detector e executando o protocolo TCP / IP. Ao longo dos anos, a evolução das redes externas tem realmente sido determinante. No início dos anos 80, as transferências eram apenas de Kbps e ligavam somente um punhado de sítios. Nos anos 90, tornaram-se disponíveis capacidades de várias centenas de Mbps e o CERN tornou-se o maior ponto de ligações de internet na Europa, com 80% da capacidade europeia da Internet. Hoje, os institutos de física de alta energia (HEP) são normalmente conectados ao CERN a velocidades de Gigabits por segundo, e alguns locais mesmo a centenas de Gigabits por segundo.

A capacidade das redes informáticas é essencial para o trabalho em HEP, ligando a comunidade ao CERN, sem precisar de presença física. Os dados do LHC são replicados em centros de dados espalhados pelo mundo, 24 horas por dia e sete dias por semana, de forma a ter sempre versões actualizadas disponíveis.

## **A WEB**

É claro que não é possível falar sobre computação no CERN sem mencionar a Web. Além da visão de Tim Berners-Lee, foi realmente a necessidade de milhares de cientistas da comunidade HEP espalhados por todo o mundo, juntamente com o aparecimento de novas tecnologias como as ligações rápidas sobre o protocolo TCP / IP e o advento das estações de trabalho gráficas (e mais tarde Macs e PCs acessíveis a todos) que fizeram da WWW uma revolução mundial.

## **A “GRID”**

A Worldwide LHC Computing Grid (WLCG) é o maior esforço científico com o objetivo de partilhar recursos informáticos em todo o mundo. Este projeto começou no início do ano 2000 a partir de ideias iniciais e implementação do Laboratório Nacional de Argonne e da Universidade da Califórnia em Santa Cruz, com importantes contribuições da Comissão Europeia e dos institutos HEP em todo o mundo. Desde então cresceu tornando-se um sistema distribuído, robusto e resiliente repartido por mais de 170 sítios, disponibilizando assim meio milhão de núcleos e 500 petabytes de dados do LHC para análise. Todos interconectados com ligações de alta velocidade da ordem de vários Gbps.

O WLCG actualmente processa habitualmente meio milhão de trabalhos em simultâneo, um grande avanço em relação ao cálculo da Ferranti quase 60 anos atrás.

## **Preservação de dados**

Os parágrafos anteriores salientam o principal desafio ao longo dos últimos 50 anos, a capacidade de aceder e processar os dados produzidos por aceleradores e experiências. Mas o que acontece quando as experiências terminam e os detectores são desmontados? Os dados permanecerão sempre nas cassetes? Os programas FORTRAN de 1960 serão ainda capazes de executar e entender esses dados? Ainda compreenderemos o que o programa faz e quais foram os pressupostos que o autor tomou? É aqui que a preservação de dados é muito importante, e para a física de alta energia é um problema ainda não resolvido. Na verdade, é um problema capital, na minha opinião altamente subestimado. Você tem a certeza de poder ver as filmagens dos seus filhos feitas com uma câmara digital há 10 anos? Ainda é capaz de ler o formato de ficheiro em que foram armazenadas? Ainda é capaz de ler documentos do Word escritos em meados da década de 90? Consegue mesmo encontrá-los?

## **Acesso Livre (Publicações, Dados e Código)**

O CERN está empenhado em proporcionar Acesso Livre (Open Access), o qual reflete valores que foram consagrados na sua Convenção durante mais de sessenta anos, e se tem revelado cada vez mais importante para os Estados Membros, a Comissão Europeia e outros parceiros institucionais por todo o mundo.

Há mais de vinte anos, a maioria das publicações de física feitas no CERN tornaram-se publi-

cação em revistas especializadas. Isso geralmente é conhecido como “Green Open Access». Os periódicos de “Gold Open Access” disponibilizam gratuitamente artigos revistos por pares. Esses periódicos geralmente são financiados por uma taxa de publicação por artigo, conhecida como Taxa de Processamento do Artigo (APC). Até 2013, o Serviço de Informação Científica do CERN cobriu estas taxas para determinados periódicos de forma centralizada. Desde 2010 e graças a parcerias com a maioria das grandes editoras, os artigos com resultados experimentais das colaborações do LHC foram sistematicamente publicados em Gold Open Access. Os autores do CERN devem publicar todos os seus resultados em Gold Open Access.

Várias tecnologias do CERN estão a ser desenvolvidas tendo em mente a Open Access. O Invenio é um pacote de gestão de bibliotecas de software de código aberto, com contribuições internacionais de institutos colaboradores, normalmente utilizado em bibliotecas digitais. O CERN, com co-financiamento da Comissão Europeia, também investe há muito tempo num repositório livre de dados abertos, para uso além da comunidade de física de alta energia: Zenodo.

### **Trabalhando com a indústria: CERN openlab**

O openlab do CERN é uma parceria público-privada singular que acelera o desenvolvimento de soluções de ponta para a comunidade mundial do LHC e pesquisas científicas de outros âmbitos. Através do CERN openlab, o CERN colabora com as principais empresas de Tecnologias de Informação e Comunicações (TIC) e institutos de investigação.

O CERN Openlab foi criado em 2001 e em 2018 entra na sexta fase de três anos. Como na fase anterior esta fase aborda desafios ambiciosos que cobrem as necessidades mais críticas das infra-estruturas de IT em domínios como aquisição de dados, plataformas de computação, arquiteturas de armazenamento de dados, processamento e provisionamento de computação, redes de comunicação e análise de dados.

Nessa estrutura, o CERN oferece acesso à sua complexa infra-estrutura de IT e experiência em engenharia, e em alguns casos, até mesmo aos recursos de institutos colaboradores em todo o mundo. O teste no ambiente exigente do CERN fornece aos parceiros da indústria de TIC um retorno de informação valioso sobre seus produtos, permitindo ao CERN avaliar os méritos para possíveis usos futuros das novas tecnologias nos seus primeiros estados de desenvolvimento. Esta estrutura também oferece um terreno neutro para a realização de P&D avançadas com mais de uma empresa.

### **Educação**

A Escola de Computação do CERN dura duas semanas por ano e é uma “universidade de verão” que oferece uma série de palestras e exercícios práticos, com um diploma oficial da CSC (CERN School of Computing) após a conclusão bem sucedida do exame (e, muitas vezes, créditos ECTS, Sistema Europeu de Transferência e Acumulação de Créditos). É aberta a estudantes de pós-graduação e pesquisadores, que trabalham no CERN ou em institutos externos, com alguns anos de experiência em física de partículas, em informática ou em campos relacionados. Os participantes provêm de laboratórios e universidades mundiais, mesmo fora da comunidade de física de partículas, geralmente atraídos pelos tópicos avançados que são ensinados. A frequência varia de 60 a 80 alunos, tipicamente de 15 a 30 nacionalidades diferentes (60 nacionalidades diferentes nos últimos 10 anos). Cerca de 80% dos estudantes provêm de países europeus.

### **Olhando para o futuro**

Com a informática do LHC bem encaminhada, a colaboração do WLCG está mais voltada para o futuro, concentrando-se já nas duas fases de atualização planeadas para o LHC.

A primeira fase (2019-2020) verá grandes atualizações das experiências ALICE e LHCb, bem como uma maior luminosidade do LHC. A segunda fase - o projecto HL-LHC (High Luminosity LHC) em 2024-2025 - atualizará o LHC para uma luminosidade muito maior e aumentará a precisão dos detectores ATLAS e CMS que serão substancialmente aperfeiçoados.



Os requisitos para dados e informática crescerão dramaticamente durante esse período, chegando aos 500 PB / ano para o HL-LHC. As necessidades de processamento devem aumentar mais de 10 vezes além do previsto para a evolução da tecnologia. Estes são desafios significativos e entusiasmantes, e é claro que a informática do LHC continuará a evoluir, e que em 10 anos será muito diferente, sempre mantendo os recursos que permitem a colaboração global.

A longo termo, especialistas de informática, físicos e engenheiros começam já a preparar os recursos de rede e computação para o projecto **Future Circular Collider (FCC)**. Um projecto de tal magnitude necessita também de recursos especiais de gestão planeamento financeiro e administrativo. As soluções técnicas para muitas dos tópicos, incluindo Informática, desde sistemas de controlo até soluções de análise de dados, serão desenvolvidas no futuro.

## Transferência de conhecimento e tecnologia

*Giovanni Anelli*

Para alcançar os seus ambiciosos objectivos de investigação, o CERN tem de desenvolver constantemente instrumentação avançada e soluções tecnológicas inovadoras, principalmente em campos relacionados com detectores de partículas, aceleradores e tecnologia informática. Estes incluem muitas áreas, como por exemplo, microelectrónica, supercondutividade, criogenia e materiais avançados.

Estas tecnologias e, mais importante, o conhecimento que as suporta, são elementos chave da Organização, e é também de extrema importância que a sociedade em geral possa beneficiar deles.

Desde há muitos anos, o CERN investiga activamente possíveis aplicações das suas inovações outros campos além da Física de Altas Energias, e tem desenvolvido diferentes ferramentas para transferir o seu know-how e experiência para empresas e outras instituições de investigação. Alguns exemplos dessas ferramentas são; a licença CERN Open Hardware, parcerias com a indústria, licenças, serviços e acordos de consultoria e a rede de Centros de Incubação Empresarial nos Estados Membros do CERN, para apoiar start-ups a implementar tecnologias do CERN.

A transferência de conhecimento para a indústria também acontece através da aquisição de componentes de alta tecnologia e da mobilidade de pessoas: muitos estudantes e jovens investigadores que trabalharam no CERN no início de suas carreiras, mudaram-se para a indústria, beneficiando da riqueza de conhecimento que adquiriram enquanto trabalhavam para a Organização.

A relação com a indústria é vital para a Organização. O CERN precisa de indústria para a sua instrumentação avançada, e ao mesmo tempo, ajuda a indústria a desenvolver novos produtos e serviços, sendo assim cliente e provedor de tecnologias e know-how.

Existem muitos exemplos de como o conhecimento gerado no CERN tem impacto na sociedade, em áreas tão distintas como, imagem médica avançada, tratamento do cancro, dosimetria, aplicações aeroespaciais, produção de energia, ou armazenamento e análise de dados.

Nas páginas seguintes, um exemplo de uma aplicação recente, em utilização pré-clínica em hospital: ClearPEM



“A clinical application: ClearPEM” Justino António Cardoso 2015, *Tinta da china*

## ClearPEM

*João Varela*

**ClearPEM** é um tomógrafo de mamografia de emissão de positrões de elevada resolução espacial (1,4 mm) e de alta especificidade desenvolvido pela Colaboração Crystal Clear no CERN para detectar lesões de cancro na mama. O tomógrafo usa uma técnica de imagem baseada num radioisótopo emissor de positrões marcado por uma molécula que, injetada no fluxo sanguíneo, se liga às células cancerígenas. À medida que o marcador se concentra nas lesões de cancro, é possível reconstruir uma imagem da sua distribuição espacial dentro do corpo através da detecção de pares de fótons resultantes da aniquilação dos positrões com electrões na matéria do corpo.

O positrão é a antipartícula do electrão e, portanto, quando os dois se aproximam, aniquilam-se criando dois fótons energéticos que são emitidos em direcções opostas, mas aleatórias. Na tomografia por emissão de positrões, comumente conhecida como PET, muitos destes eventos são registados por detectores de fótons externos que permitem reconstruir as suas direcções de emissão e, usando algoritmos sofisticados, criar uma imagem 3D do tumor. Quase um século após a descoberta da antimatéria, o PET surge como uma aplicação prática espetacular desta estranha forma de matéria.

O tomógrafo ClearPEM é o resultado de desenvolvimentos de longa data realizados em detectores de cristais cintilantes, fotosensores e electrónica de leitura para a experiência CMS no LHC. Um grande detector de fótons, o calorímetro eletromagnético conhecido por ECAL, com cerca de 80 mil cristais de tungstato de chumbo, foi construído pela colaboração CMS e posto em funcionamento em 2009 para medir com alta precisão fótons produzidos nas colisões de prótons no Large Hadron Collider (LHC). Esperava-se observar pares de fótons resultantes do decaimento de uma nova partícula hipotética, o bosão de Higgs, que de facto foi descoberta em 2012 através da observação de eventos com dois fótons, entre outros. Há, porém, uma grande diferença entre os fótons de decaimento do Higgs e os fótons da aniquilação electrão-positrão: os primeiros são cem mil vezes mais energéticos! Uma consequência importante é que o detector de fótons da aniquilação pode ter uma dimensão muito menor do que o ECAL tornando-o adequado para a o exame da mama.

O conhecimento e a compreensão adquiridos pelos físicos motivaram a criação de um consórcio para o uso das novas tecnologias nesta importante aplicação prática. Permitiu a concepção e construção de um instrumento que inclui cabeças de detecção feitas com 6144 cristais LYSO à base de lutécio de dimensão 2x2x20 mm para detectar os fótons emitidos pelo radioisótopo acumulado na lesão. Pela primeira vez, o foto-sensor de silício desenvolvido para o ECAL, o foto-díodo de avalanche (APD), foi utilizado num tomógrafo PET para ler a luz cintilante gerada nos cristais em vez do tradicional foto-multiplicador. Associados a um novo micro-circuito desenvolvido especificamente para esta aplicação, os APDs, photodiodos de avalanche, permitiram criar cabeças de detecção muito compactas que podem ser colocadas em torno do peito.

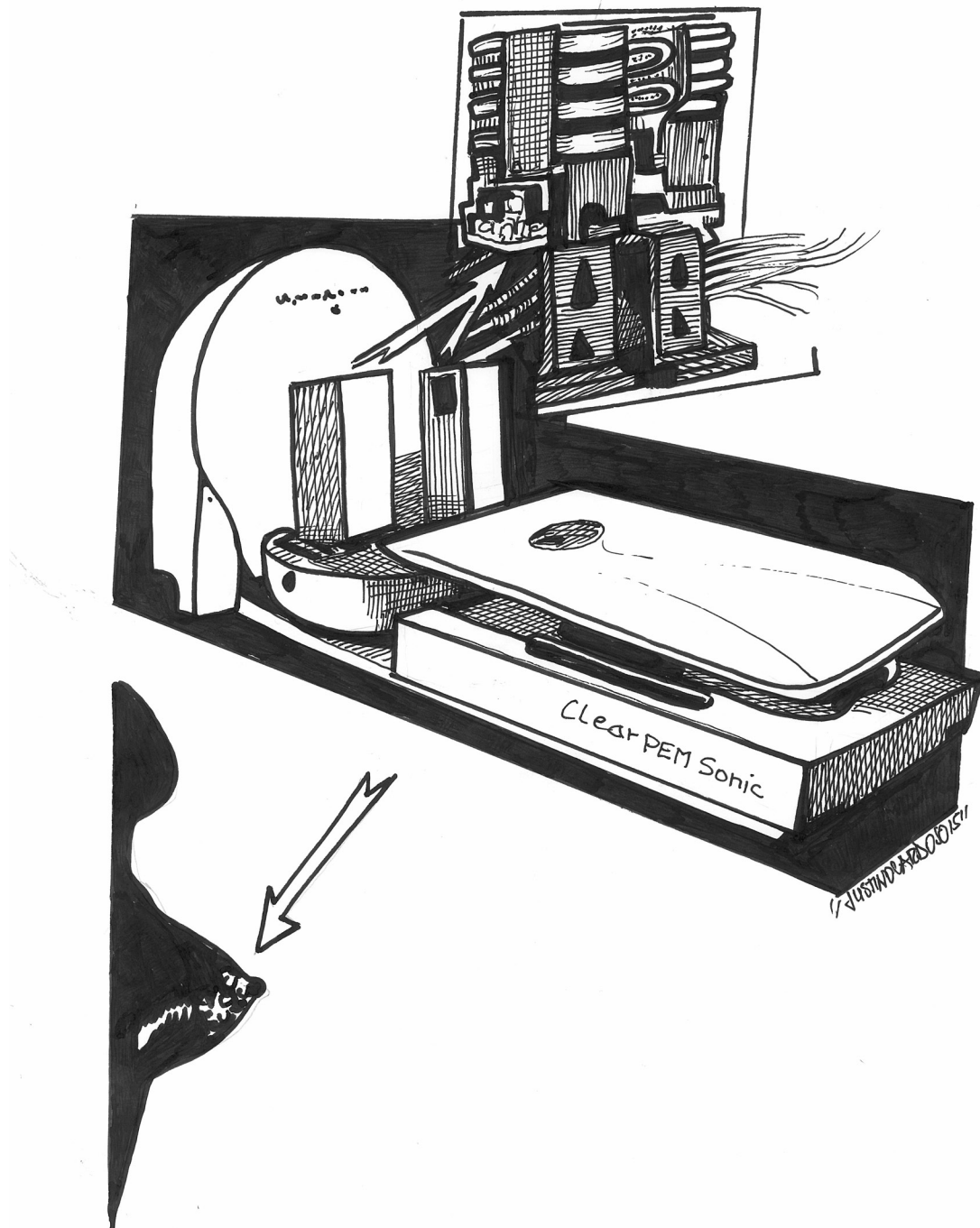
O sistema possui uma elevada sensibilidade de detecção, permitindo não apenas determinar a localização da(s) lesão(s), mas também medir a(s) sua(s) atividade(s) metabólica(s) e, portanto, permite uma avaliação mais precisa da extensão da doença e uma melhor definição entre lesões benignas e malignas. Isto é, naturalmente, determinante para o seguimento da doença e o planeamento do tratamento.

Foram construídas duas máquinas ClearPEM. Uma está instalada no Hospital Universitário de Coimbra (ICNAS, Instituto de Ciências Nucleares Aplicadas à Saúde) e outra está em operação no Hospital San Gerardo em Monza. O desempenho das máquinas foi validado para pacientes com cancro de mama diagnosticados pelos procedimentos e exames padrão. A comparação entre as imagens dos mesmos pacientes produzidos por tomógrafos PET comerciais e pelo ClearPEM mostrou as vantagens da alta resolução espacial alcançada pelo último.

Num laboratório onde os físicos estudam a origem do nosso universo, tentando entender a assimetria entre matéria e antimatéria e revelar o misteriosa matéria escura, um projeto como o

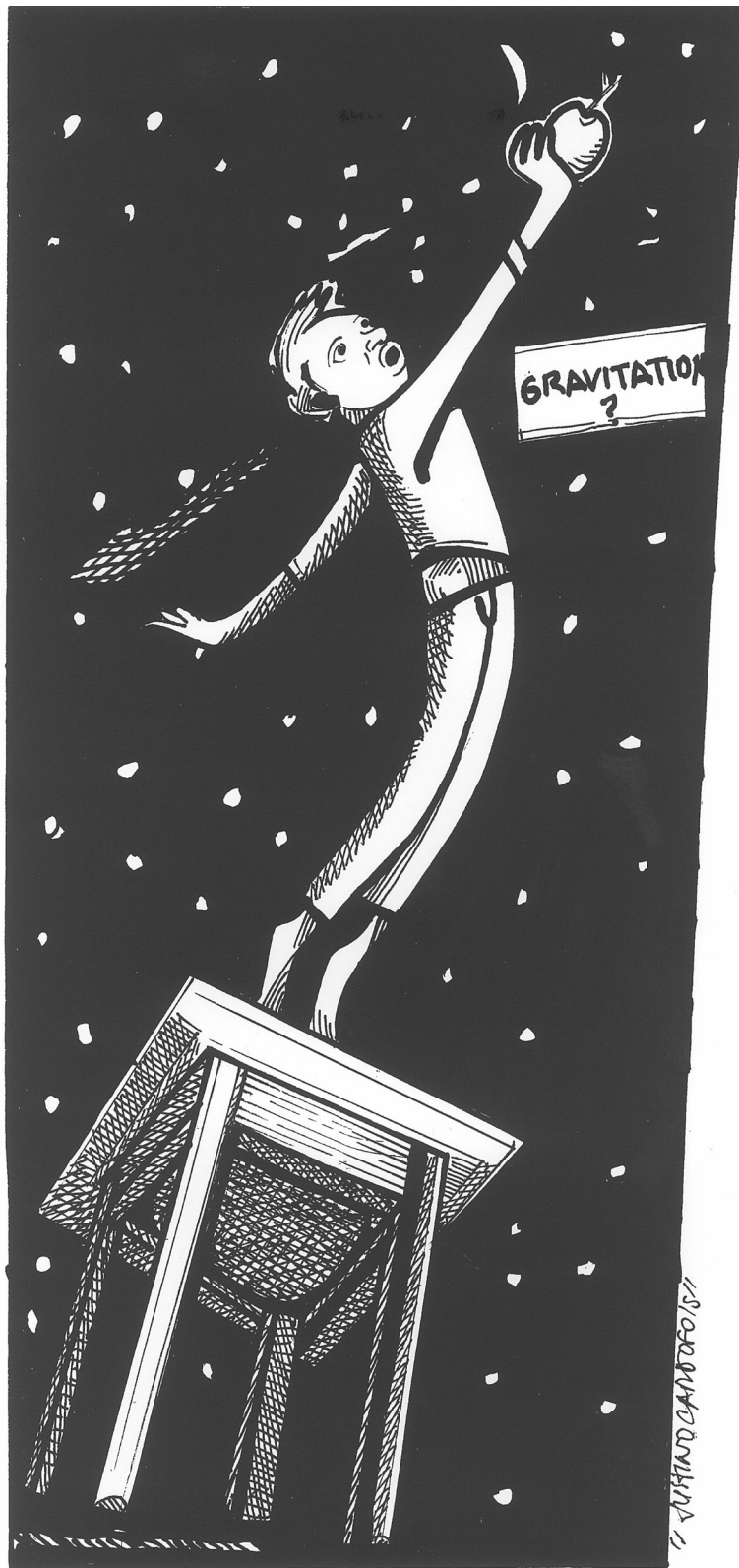


Clear PEM estimulou a nossa imaginação. Na verdade, este exemplo ilustra como a pesquisa fundamental na física de partículas levou em diversas ocasiões a avanços importantes em termos de inovação e transferência tecnológica em benefício de nossa vida diária.



**"An innovative technology"** Justino António Cardoso 2015, *Tinta da china*

*ClearPEM é um novo tipo de scanner de mamografia de alta resolução desenvolvido pela colaboração Crystal Clear no CERN, capaz de detectar lesões cancerosas da mama. Baseia-se em diferentes tecnologias desenvolvidas para a experiência CMS do LHC.*



**"The gravitation law I know"** Justino António Cardoso 2015, Tinta da china

*Em 1687, Isaac Newton publicou "Principia", onde formulou a lei da gravitação universal. A gravidade é a mais fraca das quatro interações fundamentais que existem na natureza.*

*Dimensões extras podem explicar por que a gravidade é tão fraca. A física teórica com a Teoria de tudo tenta unificar todas as interações fundamentais da natureza: gravidade, interação forte, interação fraca e interação eletromagnética.*

## ARTSCI no CERN

*Arthur I. Miller*

O CERN é um líder mundial em pesquisas sobre o mundo misterioso das partículas elementares. É também um lugar privilegiado para o crescente campo de arte e ciência, em que artistas e cientistas trabalham juntos para fornecer novas formas de representar o universo em que vivemos. Isto teve origem por volta do ano 2000, quando o artista londrino Ken McMullen trouxe um círculo de artistas Europeus conhecidos para o CERN. Os artistas visitaram o CERN por breves períodos, depois retornaram aos seus estúdios para trabalhar em ideias inspiradas em conversas com cientistas do CERN. O resultado foi *Signatures of the Invisible*, uma mostra que incluiu pinturas e esculturas. A exposição abriu em 2001 na Galeria Atlantis de Londres com grande aclamação, e continuou sendo exibida em Estocolmo, Lisboa, Paris e no MOMA PS1 em Nova York, entre outros.

Nos anos seguintes, o CERN continuou a ser citado nas notícias. Em 2009, a novela de grande sucesso de Dan Brown, *Angels and Demons*, cheia de sociedades secretas, simbolismo e a inclusão singular de uma bomba de antimatéria fabricada no CERN. e com cenário parcialmente no campus. O CERN deixou bem claro que tanto a história do livro como a bomba eram pura ficção. Pouco depois, Robert Harris baseou o seu thriller *Fear Index* num cientista que tinha trabalhado no CERN.

Mas o avanço mais significativo do panorama das artes no CERN, foi a chegada em 2009 de Ariane Koek, uma produtora londrina de programas culturais na BBC, que iniciou um programa de residência artística. Ela chamou a este projecto *Collide@CERN*, o qual foi financiado em parte pelo Centro Ars Electronica, uma organização com sede em Linz, na Áustria.

O artista em residência passou a ser escolhido numa competição formal para passar dois meses em residência no CERN e um mês no centro Ars Electronica para desenvolver uma obra inspirada pelo CERN. Em contraste no programa de McMullen os artistas passaram vários breves períodos no CERN, mas fizeram o seu trabalho nos seus próprios estúdios. No CERN, o artista escolhido associa-se com um cientista por “speed dating”, ideia que permite encontrar o maior número possível de cientistas, cada um dos quais explicando o seu trabalho ao outro.

Hoje, este programa é dirigido pela crítica e curadora espanhola Monica Bello. O problema é que muitas vezes o cientista não está confortável com o mundo do artista e vice-versa. De facto o artista conhece muito pouca ciência.

Dos artistas que passaram pelo programa, gostaria de salientar o artista japonês de visualização de dados Ryoji Ikeda. Os artistas de visualização de dados usam algoritmos para extrair enormes quantidades de dados e representá-los esteticamente. Como cientistas, eles procuram padrões porque os padrões nos dados são o ADN da natureza. Os dados são a base das actividades do CERN, o seu sangue vital e Ikeda vive e respira nesse mundo. As suas instalações usam programação de computadores em tempo real para descrever uma enorme quantidade de informação com pontos cintilantes de luz em padrões variados com uma trilha sonora hipnótica. Eles são literalmente de tirar o fôlego, mostrando o fascínio dos dados do mundo sub-microscópico captados por detectores gigantesco.

O CERN tem o prestígio para atrair artistas de alta qualidade que, na minha opinião, deveriam ser convidados e pagos por seus serviços, com a condição de produzirem trabalho que possa ser exibido no CERN. Imagine isso - uma galeria de arte no CERN. Uma vez que a pesquisa no CERN se esforça por tornar visível o invisível, os artistas que se especializam em abstração devem ter preferência, como o reconhecido artista inglês Keith Tyson, vencedor do prestigioso Prêmio Turner em 2002. O seu trabalho - pinturas e esculturas - abrange sistemas generativos e abraça a complexidade e a interconectividade da existência. Portanto, não é de surpreender que o Grupo de Teoria do CERN tenha ficado muito impressionado com ele quando visitou o laboratório. Os cientistas do CERN são uma elite e devem interagir com artistas bem reputados, com liberdade para visitar e partir conforme lhes convém.



No meu livro *“Colliding Worlds: How Cutting-Edge Science Has Redefined Contemporary Art”* eu discuto o programa Collide@CERN com algum detalhe. Com base em mais de cem entrevistas com artistas do século XXI, torna-se patente que a arte, a ciência e a tecnologia, tal como os conhecemos, estão a desaparecer, e se estão fundindo no que chamo uma terceira cultura, uma nova vanguarda. Os seus protagonistas são um novo tipo de artista - artista, cientista e tecnólogo combinados numa entidade. Essas criaturas híbridas posicionam-se no campo fascinante e muito discutido da arte gerada por inteligência artificial (AI). O CERN deve considerar convidar essa nova geração de artistas.

\* Mas informação: [www.arthurimiller.com](http://www.arthurimiller.com) e [www.collidingworlds.org](http://www.collidingworlds.org) ou [a.miller@ucl.ac.uk](mailto:a.miller@ucl.ac.uk)



**“Strings at the horizon of a black hole”** Karen Panman 2014, *cerâmica pintada e cordas de plástico.*

## Ciência, política e sociedade

*Rolf Heuer*

O progresso é uma coisa muito complexa, mas uma coisa é certa: está intimamente ligado à curiosidade humana. Sem isso, a raça humana ainda estaria no Grande Vale do Rift. Graças a isso, dominamos o nosso mundo, estamos a explorar outros, colocando-nos em posição de contemplar a natureza do nosso Universo e tornamos a vida de pessoas comuns inimaginavelmente melhor. Hoje, vivemos numa época em que a ciência orientada pela curiosidade toca quase todos os aspectos de nossa vida. Mas no entanto, há décadas que a ciência se tem vindo a desenvolver à margem da sociedade e da cultura. É importante ter isto presente, porque as pessoas são cada vez mais solicitadas a tomar decisões baseadas em ciência, e se a comunidade científica não ajuda a capacitá-las, isso significa que nós como cientistas, estamos a falhar no nosso dever. Se nós cientistas, permanecermos enclausurados nas nossas torres de marfim, então é certo que não estamos a fazer o nosso trabalho. Esta é uma responsabilidade importante da ciência: ajudar as pessoas a fazer escolhas racionais nas suas vidas quotidianas.

Para pessoas como eu que trabalham em ciência financiada publicamente, também há uma obrigação moral de envolver o público. O CERN estuda ciência fundamental. A nossa principal produção é o conhecimento do universo. Ao longo dos tempos, os cientistas e engenheiros do CERN desenvolvem tecnologias que vão desde a World Wide Web até detectores para imagiologia médica, técnicas de ultra-vácuo que possuem aplicações na energia solar e aceleradores de partículas para a terapia do cancro. Mas é a busca de conhecimento que nos move e da minha experiência, o conhecimento que nós oferecemos satisfaz a necessidade humana básica de aprender. A ciência fundamental alimenta a mente. E permitam-me apenas acrescentar que o público que nos financia tem o direito de saber o que estamos a fazer e saber que estamos a investir bem o seu dinheiro. No CERN, essas responsabilidades são levadas a sério: impulsionámos a construção do acelerador de partículas mais poderoso do mundo, o Large Hadron Collider (LHC), aumentando o nosso impacto e envolvendo uma ampla gama de público. Desde escolas primárias até aos decisores, de artistas até religiões do mundo inteiro, iniciámos discussões que estão a fazer a diferença.

Isso forma a minha primeira mensagem-chave: é vital, hoje mais do que nunca, que a ciência se comprometa com a sociedade, pois todos dependemos dela. O nosso futuro depende da ciência e a ciência tem a obrigação moral de se empenhar.

A minha segunda mensagem-chave é que é igualmente vital que a ciência seja realizada não isoladamente, mas em colaboração. Isto foi reconhecido na Europa após a Segunda Guerra Mundial por um pequeno grupo de cientistas e diplomatas visionários que combinaram ciência e educação para criar uma ressonância que mudaria para sempre a maneira de fazer a ciência transfronteiriça. No dia 29 de Setembro de 1954, essa ressonância culminou no nascimento do CERN, e foi estabelecido um plano a longo prazo de colaboração científica internacional.

Os fundadores do CERN criaram um sistema estável para o setor público para sustentar a ciência básica. Desde então, o mundo tem assistido a economia em alta e em baixa, mas a ciência básica sempre foi realizada no CERN. Se toda a ciência básica pudesse ser feita no modelo do CERN: isto é, internacional, colaborativo e aberto, com uma estrutura de financiamento do setor público estável, o nosso progresso seria assegurado. E o mundo poderia tornar-se um pouco mais resistente à recessão do que é hoje.

O CERN é uma organização europeia, fundada por princípios de equidade para os seus membros e abertura para o mundo. Consequentemente, o seu modelo de governação dá uma voz a todos os estados membros, grandes e pequenos. O seu modelo de financiamento permite que os Estados membros contribuam de acordo com seus meios. E o seu modelo de pesquisa acolhe cientistas de todo o mundo capazes de contribuir positivamente para os programas de pesquisa do laboratório. Através destes princípios básicos, o CERN fornece um modelo de estabilidade para a colaboração transfronteiriça na Europa, para o comprometimento europeu coordenado com o resto

do mundo e um plano de liderança no campo da física de partículas. O resultado é que hoje, o CERN é indiscutivelmente o centro de uma comunidade global de cientistas que avançam nas fronteiras do conhecimento. É um exemplo brilhante do que as pessoas podem fazer quando trabalham juntas.

Hoje, temos que implantar este modelo de forma mais ampla. A ciência é cada vez mais global, e a física de partículas está na vanguarda desse desenvolvimento. Assim, foi bastante natural que em 2010, o CERN ultrapassasse os limites da Europa, abrindo a possibilidade de adesão ou associação a todos os estados, independentemente da localização geográfica.

Consequentemente, o ideal do CERN de paz e compreensão entre as nações, mediado através da linguagem universal da ciência, é visível em todo o mundo. Junto com isso vem a alegria da curiosidade humana compartilhada e os benefícios práticos da educação, inovação e colaboração.

Uma instituição como o CERN pode desempenhar um papel vital na educação. Vamos começar com os mais jovens dos nossos membros. Pesquisas da indústria mostram regularmente que há um déficit de licenciados em ciência e engenharia. Como solucionar o problema? Na minha opinião: entusiasmando os jovens. Segundo a pesquisa de opinião sobre o CERN, feita localmente em 2008 na região de Genebra, os resultados não foram surpreendentes. Os nossos vizinhos reconheceram o impacto económico local de uma grande organização intergovernamental, mas desconfiam de nós. Então, perguntámos-lhes como eles gostariam que nos tornássemos melhores vizinhos. Entre os temas que emergiram: trazer a ciência para aulas de ensino primário.

Trabalhamos com as autoridades educativas de França e do Cantão suíço de Genebra, bem como com a Universidade de Genebra, para um projeto de pesquisa para crianças. No fim, as turmas receberam uma caixa selada e, usando o raciocínio científico, com algumas pistas ao longo do caminho, os alunos tinham descobrir o que está lá dentro sem espreitar. O projeto foi apresentado em conferências, traduzidas para outras línguas e implantadas também no México. É muito cedo para dizer se isso incentivará os mais jovens a virarem-se para a ciência, fornecendo cidadãos qualificados para a indústria. Mas no entanto, se pelo menos o que foi feito serviu para encorajar as crianças a não perder o senso de curiosidade, terá valido a pena.

Voltando agora à política, aos decisores, aqui é a minha terceira mensagem-chave: é vital para a comunidade científica envolver-se melhor com os círculos políticos. Quantas vezes vimos os políticos tomar decisões erradas como resultado de um mau raciocínio científico? Com questões tão importantes como as mudanças climáticas, exigindo uma ação urgente, é agora vital que aqueles em quem confiamos para a tomada de decisões sejam capazes de avaliar bem a ciência. É por isso que o CERN pediu e recebeu o estatuto de observador permanente na ONU, onde promovemos uma mensagem importante para os políticos: é vossa responsabilidade, como gestores da bolsa pública, manter uma ciência básica saudável. Isso, de facto, é exatamente o que a Europa alcançou há mais de 60 anos com a fundação do CERN e, desde então, outras sete organizações internacionais de pesquisa intergovernamentais líderes mundiais.

Trabalhar para garantir uma classe governante cientificamente alfabetizada e um fluxo saudável de graduados em ciência e engenharia podem ser missões claras para o CERN, mas o que acontece com outros grupos? As artes? As principais religiões do mundo? Durante o meu mandato como Director-Geral do CERN, lançámos um programa de residência de artistas que já viu algumas interações notáveis entre dois extremos aparentemente opostos do espectro cultural. O que estamos a descobrir é que artistas e cientistas têm muito em comum. Ambos são curiosos sobre o mundo em que vivem e ambos são altamente criativos. Por exemplo, quando o artista moçambicano Justino Cardoso produziu as obras exibidas neste volume, foi na sua primeira visita fora da África. Ele nunca teve contacto com físicos ou conhecimento de física antes de chegar ao CERN, e a colisão da criatividade artística e científica produziu resultados notáveis, como você decerto concordará.

O envolvimento com as artes permite que o CERN atinja públicos que de outra forma estariam fora de alcance. Quando mostramos uma performance de dança inspirada pela ciência no CERN, trazemos pessoas que normalmente não sonham em colocar o pé dentro de um laboratório de física, e quando realizamos uma noite de comédia, para citar um ponto ligeiramente diferente



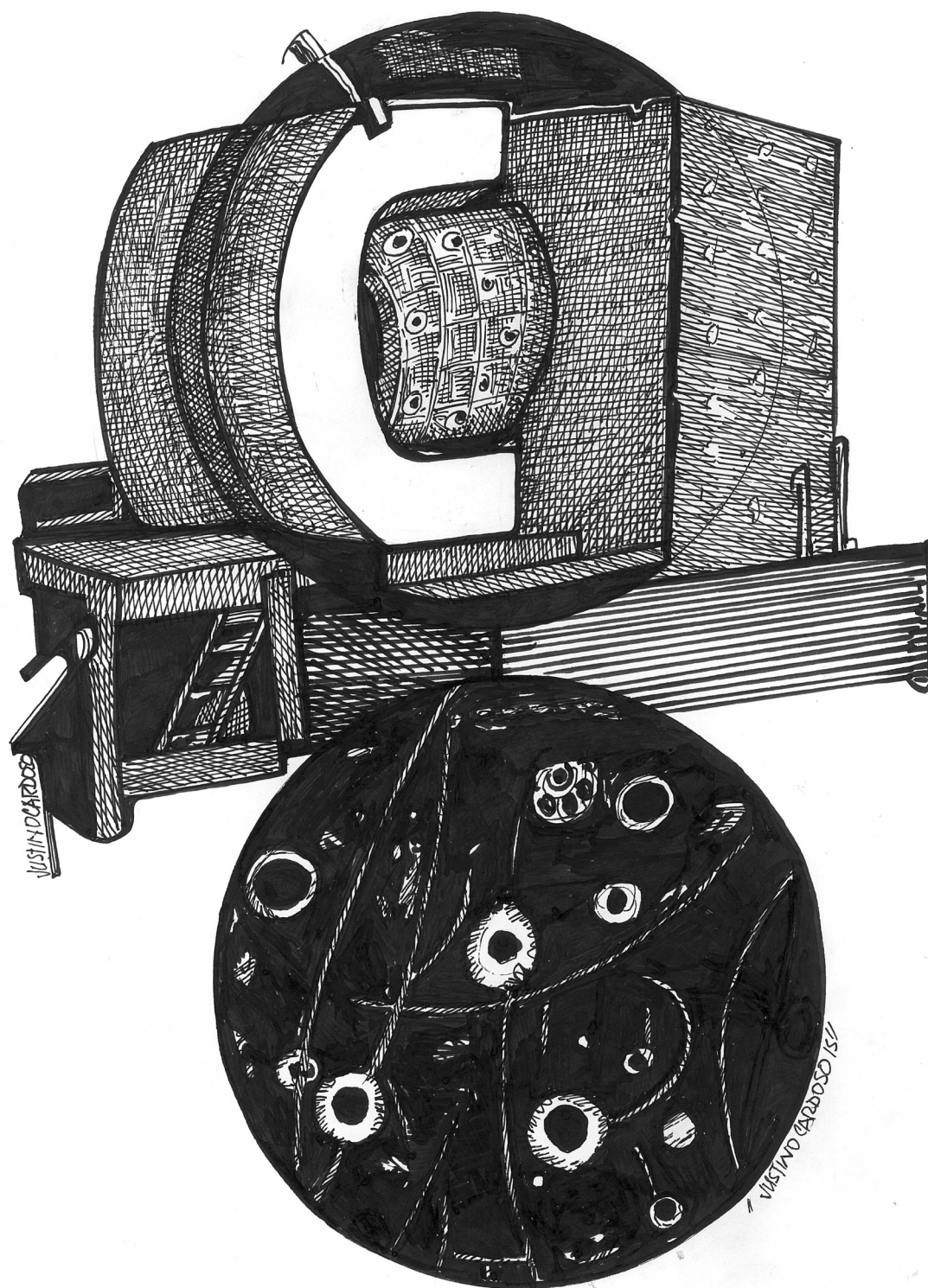
de arte, mais de metade do público nos disse que nunca antes tinham estado no CERN. Mas provavelmente voltarão outra vez.

E aqui está a minha quarta mensagem-chave: para a ciência e para a arte, precisa-se de uma atmosfera aberta na sociedade.

Precisamos de liberdade e confiança para realizar, pensar e expressar. Tanto a ciência como a arte precisam dessas coisas. Tim Berners-Lee, por exemplo, teve a liberdade e confiança para desenvolver algo. Essa liberdade foi-lhe dada pelo instituto pelo qual ele trabalhou, e o que ele fez foi tão criativo como uma obra de arte. Ele poderia ter desenvolvido qualquer coisa. O que ele desenvolveu foi World Wide Web.

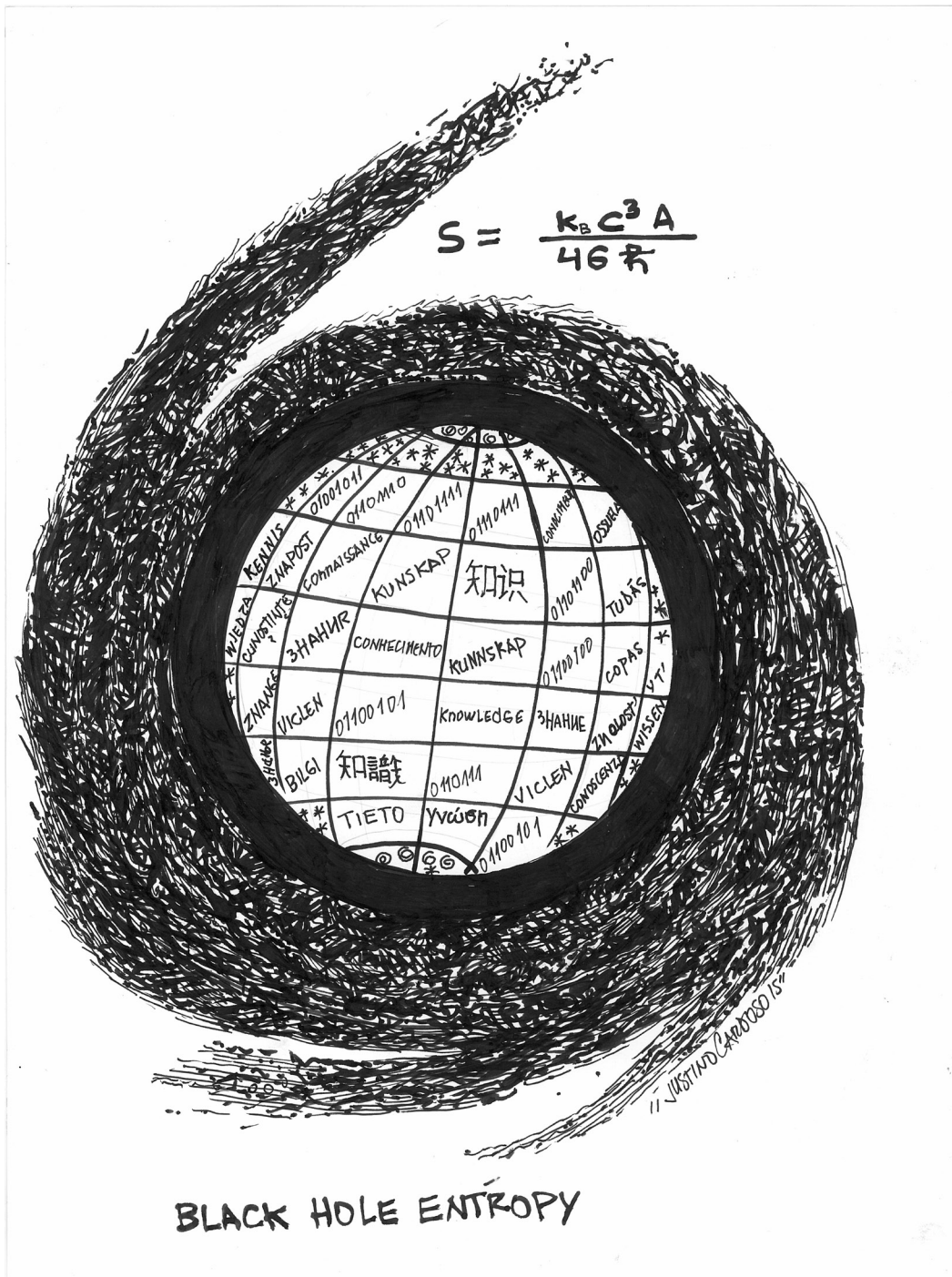
Para concluir: a ciência tem a responsabilidade de ir ao encontro da corrente dominante da cultura popular, de se envolver e moldar o debate público sobre questões importantes baseadas na ciência. Tem a responsabilidade de se submeter ao escrutínio, especialmente se for financiado pelo dinheiro público. E tem o dever de trabalhar com os mais altos padrões éticos possíveis. A ciência sustenta quase todos os aspectos da vida moderna, seja ela económica, social, cultural ou humanitária, e é cega a etnia, género, linguagem e religião.

Em suma, a ciência representa o melhor da humanidade.



**"Gargamelle and the neutral currents"** Justino António Cardoso 2015, Tinta da china

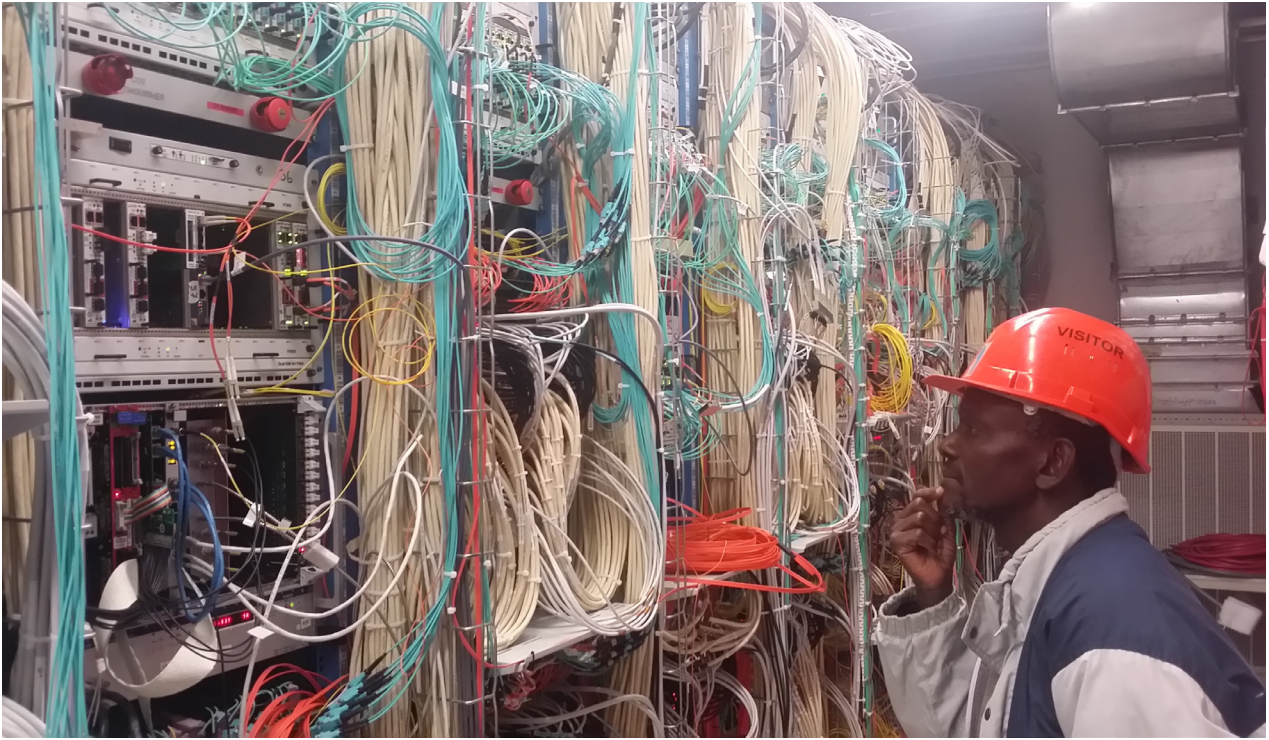
*Em julho de 1973, uma descoberta revolucionária. foi anunciada no auditório do CERN por André Lagarrigue e seus colaboradores do grupo Gargamelle. usando um feixe de sincrotrão de prótons do CERN (PS) encontraram evidências da existência de correntes neutras nas imagens gravadas pela câmara de bolha Gargamelle. Essa descoberta confirmou a teoria da unificação. Gargamelle, agora no jardim da Microcosmo, foi uma câmara de bolhas de cerca de 1000 toneladas preenchidas com 18 toneladas de freon líquido.*



“Knowledge and black holes” Justino António Cardoso 2015, Tinta da china

De acordo com teorias atuais sobre buracos negros, a informação é perdida quando a matéria cai num buraco negro. Mas será possível recuperar esse conhecimento perdido? (figura subtítulo de John Ellis)





Justino António Cardoso visita o experimento CMS. (foto: José Carlos Rasteiro da Silva)



Justino António Cardoso no CERN com Sergio Bertolucci e Marilena Streit-Bianchi (foto: Bettina Hamoudi)



Justino António Cardoso no CERN com John Ellis (foto: Marilena Streit-Bianchi)



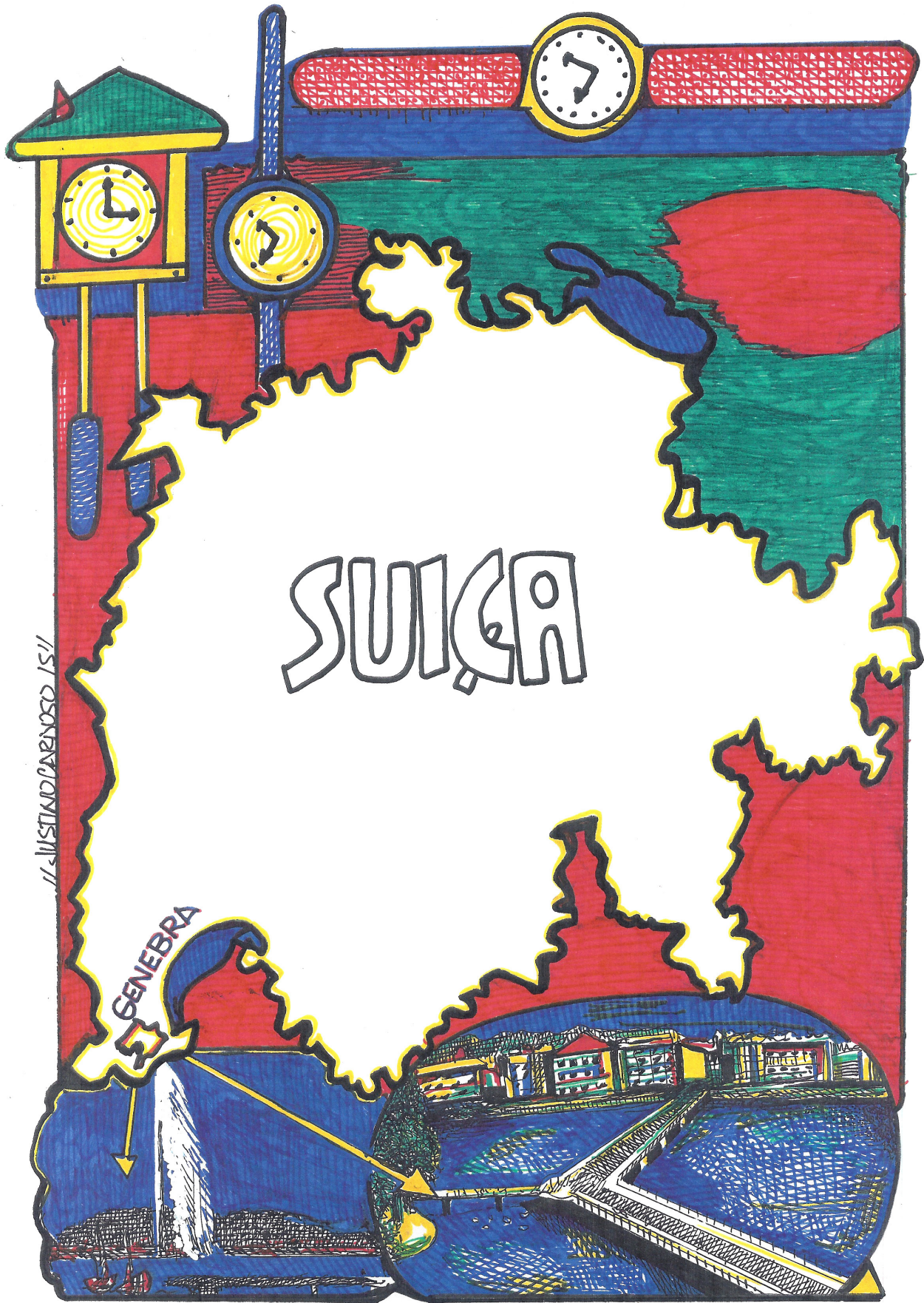
Justino António Cardoso no CERN com João Penedones Fernandes (foto: Marilena Streit-Bianchi)



Justino António Cardoso no CERN, a direita dele Jack Steinberger, premio Nobel de Física em 1988 junto a Leon Lederman e Melvin Schwartz, e a sua esquerda Jean Michel Laurent físico do experimento CAST.

(foto: Marilena Streit-Bianchi)





# SUIÇA

// JUSTIÇA RENOSO JS //

GENEVA