

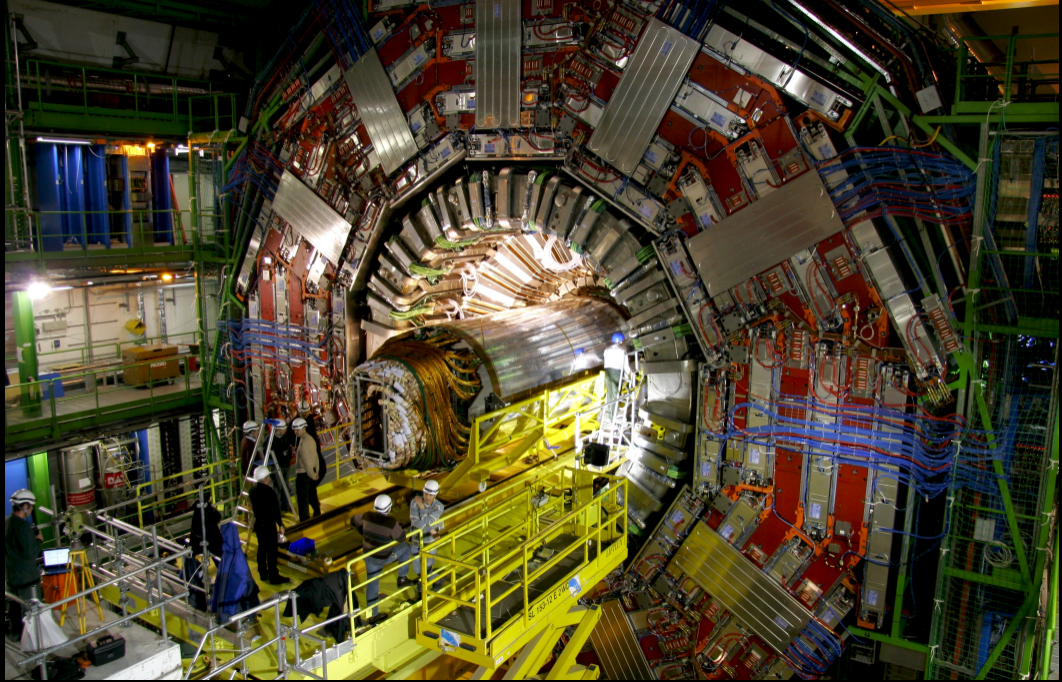


SPRACE

SPRACE

São Paulo Research and Analysis Center

São Paulo CMS group





Physics Analysis

Physics Beyond the Standard Model and Heavy Ion Collisions

Physics Beyond the Standard Model

Search for Dark Matter

Gravitational effect on all cosmological scales

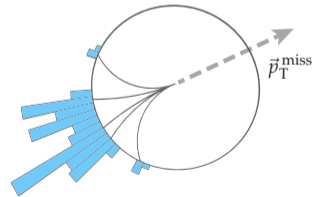
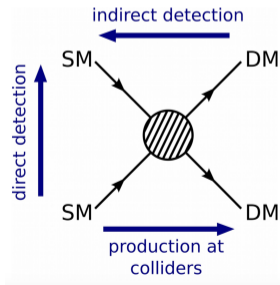
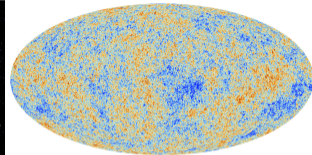
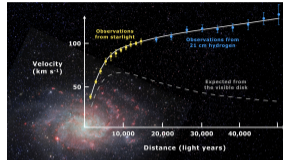
“Missing Mass” $\stackrel{?}{\implies}$ Elementary Particle

Search for nongravitational effects:

- Direct detection
 - Scattering between DM particle and nuclei
- Indirect detection
 - Annihilation of DM pair
- Production at colliders
 - Complementary search

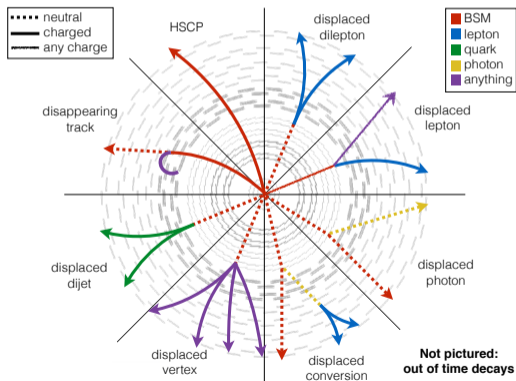
LHC initial approach

Search for p_T^{miss} + prompt SM particles.



Long-lived Particles (LLPs)

Recent push towards nonprompt signatures:
Weaker constraints, richer phenomenology



SPRACE searches for DM (Run 3):

- Disappearing tracks
 - New charged particle \rightarrow DM + low-momentum, undetected pion.
[Phys. Lett. B 806 \(2020\) 135502](#)
- Displaced vertices
 - New neutral particle \rightarrow DM + pair of charged particles.
[Phys. Rev. D 104, 052011 \(2021\)](#)

Dark Sector Searches with CMS

□ Evolution of the searches for dark matter

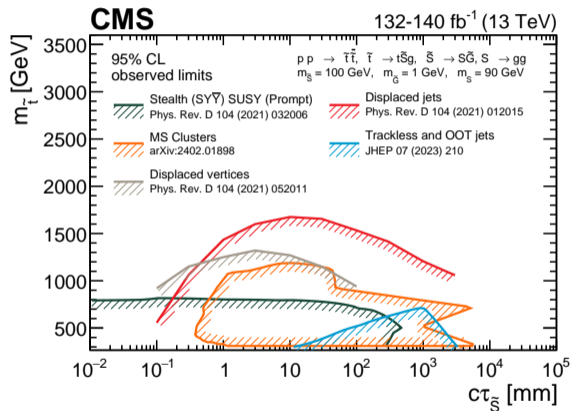
- Dark matter \rightarrow *dark sector*.

□ Reinterpretation of Run 2 results underway

- Target: Physics Reports

□ Contributions from SPRACE

- Leading the section on common experimental challenges
- Reinterpretation of the Run 2 result in dedicated to (stealth) SUSY models



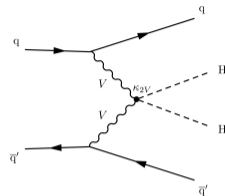
Machine Learning: Twin Higgs Production (HH→4b via VBF)

□ Non-resonant:

- Sensitivity to κ_{2V}
- Small cross-section

□ Decay mode:

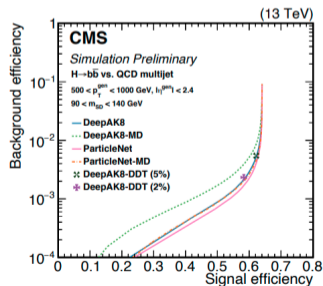
- Biggest Branching Ratio
- Challenge Background (QCD, $t\bar{t}$)



The **size of boost** of the di-Higgs system depends on the **deviations of κ_{2V}** from the SM.

ParticleNet

- Boosted topology induces **unclear correlations** between mass, substructure and flavour.
- Novel ML approach can **identify Mass Decorrelated Signal**.
- Jets are treat as an **unordered set of particles** using a **permutation invariant GNN architecture**.



Heavy Ion Physics

Femtoscopic Correlations

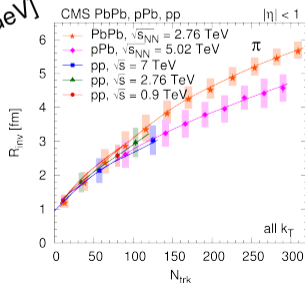
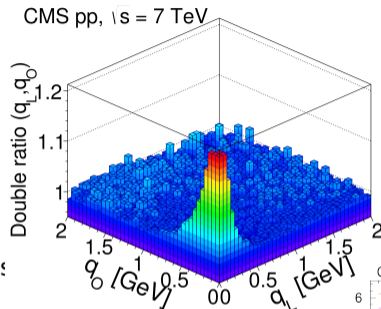
Important tool to access

- Size and shape
 - Emitting region in hadronic collisions
- Final state interactions
 - Residual hadron-hadron interaction

SPRACE contributions

- Studies in pp, pPb, and PbPb collisions:
 - Using non-identified hadrons and identified pions and kaons
 - Characterization of particle emitting regions in 1D, 2D, 3D

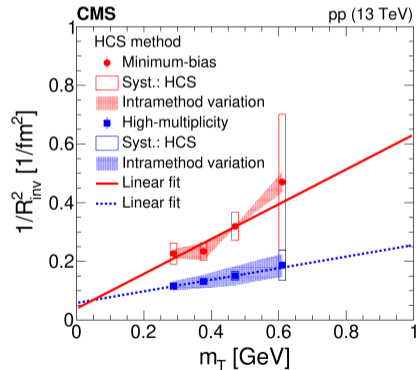
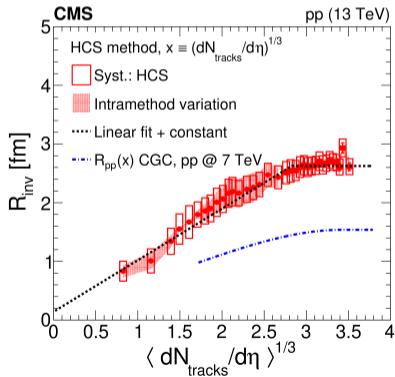
[Phys. Rev. C 97, 064912 \(2018\)](#)



Femtoscopy in Small Colliding Systems

Wide range in charged particle multiplicity in pp (Ongoing: neutral s -hadrons in pPb)

- From very small and up to very high multiplicity ($2 < N_{\text{charged}} < 250$ particles)
- Understanding collective phenomena in pp: similarities with peripheral and in central AA

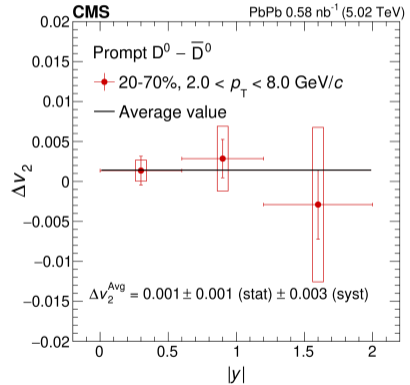
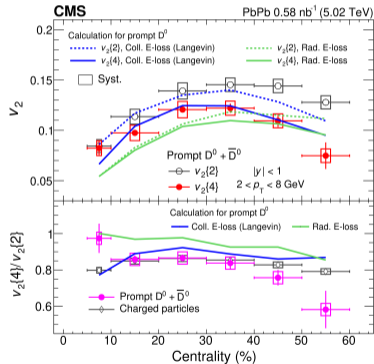


JHEP 03, 014 (2020)

Flow with D^0 Mesons and Charged Particles

Input on heavy quark interactions with Quark-Gluon Plasma (QGP)

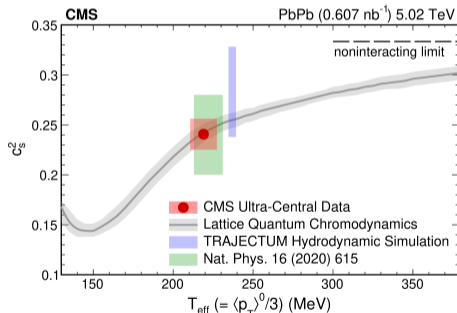
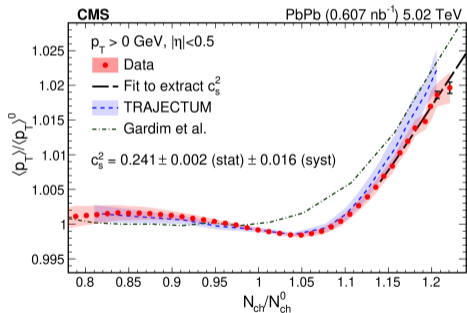
Search for effects of the strong electromagnetic fields expected to be created in the PbPb



Phys. Rev. Lett. 120, 092301 (2018) Phys. Lett. B 816, 136253 (2021) Phys. Rev. Lett. 129, 022001 (2022)

Speed of Sound in the Hot QCD Matter

- Directly accessing the Equation of State of hot QCD matter
 - Measuring the speed of sound vs. temperature
- Head-on PbPb collisions: Good agreement with Lattice QCD at $\mu_B = 0$



arXiv:2401.06896 (Submitted to RPP)



Instrumentation

Development and Implementation of OpenIPMC

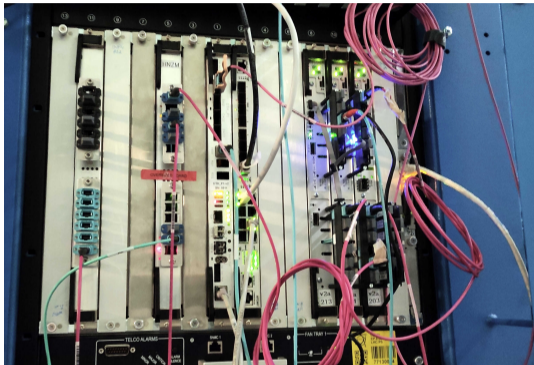
IPMC Role in the CMS Electronics

- Intelligent Platform Management Interface (**IPMI**)
 - A standard on the management of computing hardware infrastructure (Intel, HP, NEC, Dell)
 - All servers, computers, laptops, and embedded electronics follow the standard
- Advanced Telecommunication Computing Infrastructure (**ATCA**)
 - A standard for highly-reliable, high-performance modular processors

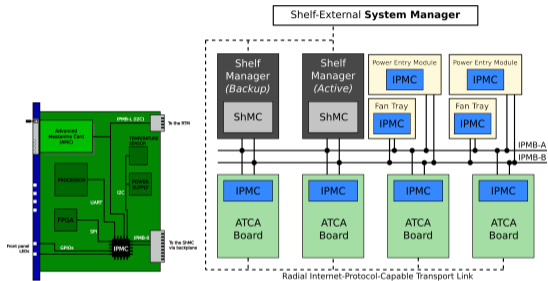
The ATLAS and CMS experiments use ATCA electronics

All ATCA boards are required to have an IPMI controller (IPMC)

- Function of the **IPMC** board in the ATCA electronics
 - Monitoring of the health of the board: temperature, current, voltage, and error messages
 - Management of the device state: power on/off, reset, insertion/extraction from the shelf, emergency shutoff (high temperature, etc.)
 - Integration with other shelf components: inform presence, state and capabilities, management interface to the shelf orchestrator (shelf manager)



An ATCA shelf at the CMS experiment

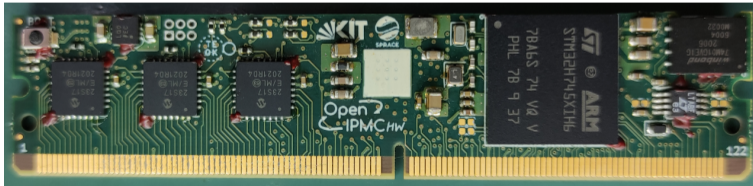


ATCA board sketch, shelf IPMI schematic

From Proprietary to an Open Source Alternatives (OpenIPMC)

- First IPMC for HEP was developed at LAPP Annecy, France
 - Microcontrollers available at the time did not allow to design a simple and low cost solution
 - LAPP IPMC project was terminated and CERN was in need of an IPMC
- CERN negotiate with nVent Company
 - Closed source, Non-Disclosure Agreements, legal risks involved in NDA
 - Researchers were excluded from development: slow support cycle

Availability of new microcontrollers: SPRACE develop the OpenIPMC



□ **Project lead by SPRACE**

- Collaborators KIT, Boston University, Imperial College London, CERN

□ OpenIPMC is a module which is inserted in a slot in the main ATCA board

□ Core of the device is a STMicroelectronics STM32H755XIH6 MCU

- Runs services inside a real-time open-source operating system (Amazon FreeRTOS)
- Follows the JEDEC MO-244 form factor, used for DDR3 memory modules

□ Free and open-source hardware and firmware

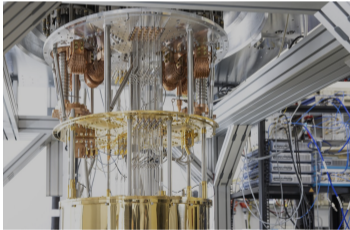
- Mezzanine (OpenIPMC-HW), firmware (OpenIPMC-FW), and software (OpenIPMC-SW)
- Each stakeholder can be developed on top of the design and apply customizations
- Important for student contributions, long-term support, use in new projects

Production of the SPRACE OpenIPMC Boards

- Versions 1.0 e 1.1 already produced in four manufacturing runs
 - Successful in-house assembly at SPRACE and KIT laboratories
 - Successful assembly by a company in Campinas for SPRACE
 - Successful assembly by an US company for Boston University
- A batch of version 1.2 boards are being produced in Brazil
 - Expected 82 boards, 55 to be used in development for CMS
 - PCB production: Circuibras, Araucária, PR (starts soon)
 - Still selecting the contractor for board assembly
- The CMS experiment will need approximately **1,100 IPMC** for its back-end boards
 - OpenIPMC can be an important Brazilian contribution to CMS and other experiments
 - Approximate dates for mass production for CMS is mid 2025 – 2026
 - This is a relatively large production run: requires planning and financial support

SPRACE OpenIPMC: Employed all over LHC and Beyond

- ❑ Serenity and Apollo ATCA boards for **ATLAS and CMS** (Tracker, HGCAL, ...)
- ❑ ATCA controller boards for the **Quantum Computers** at KIT
- ❑ Read-out boards for **TRISTAN**, new detector system of **KATRIN** experiment (ν_e mass)
- ❑ OpenIPMC is a flexible device suitable for many other applications



We were approached by interested companies dealing in space hardware (nanosatellites), embedded electronics for defense, and a Canadian conglomerate also related to the defense.



Computing

BR-SP-SPRACE Tier 2 and the WLCG

Computing Resources

Processing Servers

- 138 worker nodes
 - 2784 physical cores
 - 3620 condor batch slots, HT on
 - at least 2.5 GB of RAM per Batch slots
 - 1/10 GBits NIC

Storage Servers

- 3.83 PB
- dCache Distributed File System
 - 1 Storage Element
 - 14 disk Pool Servers
 - 10/40 Gbits NIC
 - 965 hard disks (2–20 TB)



General Servers

- Headnodes and Auxiliary Servers
 - CE: HTCondor-CE gatekeeper and HTCondor job scheduler
 - Shared Filesystems: NFS, CVMFS
 - Proxy Servers: 2 frontier squids
 - Support services: Grafana, Prometheus, VM servers, DNS server, etc

Network Infrastructure

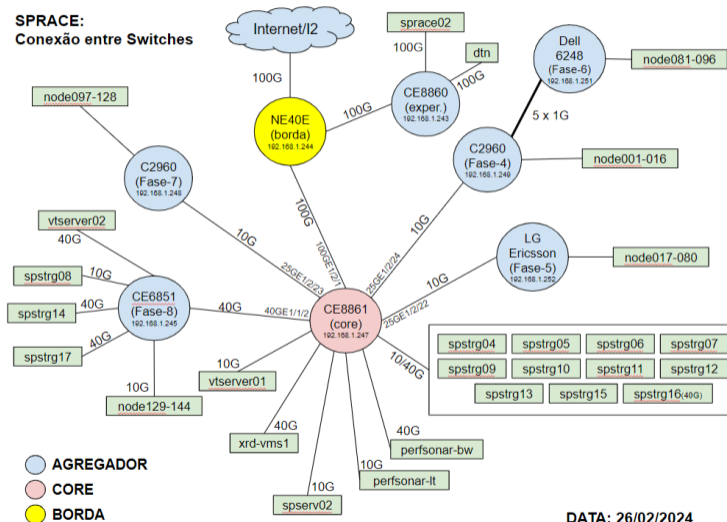
- Cluster internal connections
 - Worker nodes: 1/10 Gbps (to TOR switches)
 - 10 Gbps links between TOR and core switch
 - NFS, CVMFS, Frontier, VM servers (Hypervisors), storage servers: 10/40 Gbps

Metropolitan Area Network

- SPRACE to REDNESP provider
 - 100 Gbps
 - Links fully dedicated, independent from the university commodity network

Network Infrastructure

SPRACE: Conexão entre Switches



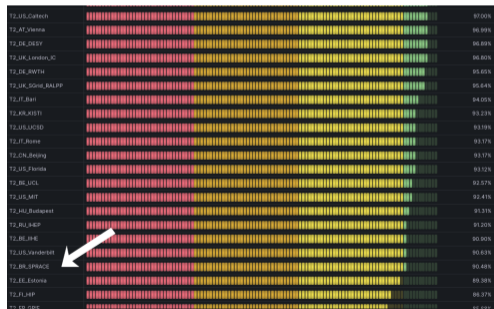
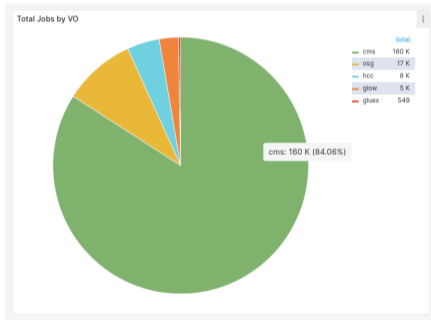
Performance of BR-SP-SPRACE

Jobs Executed Last Year

- 160,000 CMS jobs executed (84.60 %)
- 31,000 OSG jobs from OSG (15.4%)

Availability

- 90.48% during last year
- Great team work & datacenter consistency



Data Challenge 2024 (DC24)

Goals

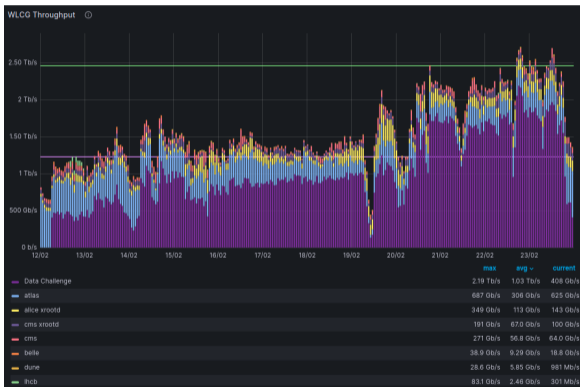
- Be prepared for HL-LHC
- Stress the current Infrastructure

Overall Performance

- 2.19 Tbps flowing between all participants
- 1.03 Tbps (avg): 12-23 February 2024.

Performance

- 63.92 Gbps from SPRACE to FNAL
- No disruption in production during the tests.

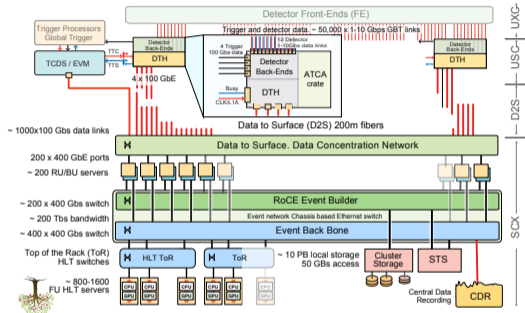


Next Generation Triggers for CMS

Natural **evolution** of the Phase I HLT

- 750 kHz input from Level-1 Trigger.
- GPU-equipped computer farm.
- Tradeoff between algorithms' reconstruction speed and accuracy.
 - Dedicated online calibrations.
- Output rate of 7.5 kHz to tape.
 - Full raw detector data (51 GB/s).

... to go beyond that, we need a **revolution**.



Proposal for CMS Phase II DAQ and HLT

<https://cds.cern.ch/record/2759072/>

The Real-time Reconstruction Revolution – R³

Overcome the two main limitations of the HLT:

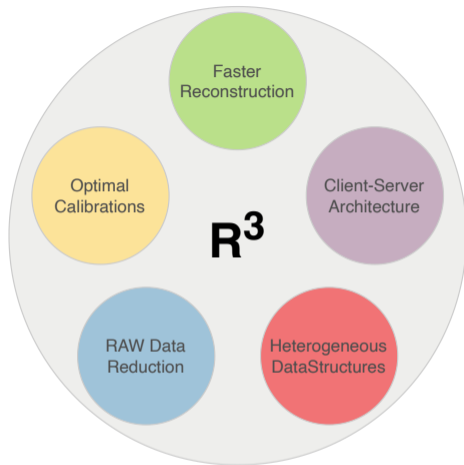
- Quality of the online reconstruction is limited by the processing capacity of the HLT farm
- Output rate limited by storage and processing capacity of offline infrastructure.

What if we could...

- have offline-like quality calibrations and reconstruction at the HLT?
- store all events in a summary, ntuple-like format?

The goal of the R3 project is to address these limitations through a comprehensive work program, consisting of five synergic tasks.

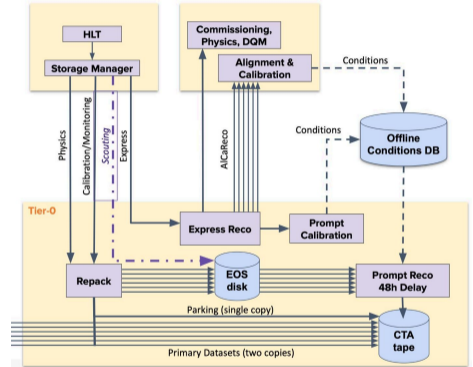
- Heterogeneous-ready & fast algorithms.
- Distributed client–server processing for HLT within CMS software.
 - Offload to remote accelerators.
- Optimised data structures for heterogeneous architecture.
- Approaches for RAW data size reduction.
 - Lossless/lossy data compression.
 - Replacing raw with locally reco'd data.
- Solutions for optimal HLT calibrations:
task lead by SPRACE.



The five tasks of R³

R³ Optimal Calibrations for HLT

- Design accelerated calibration workflows to achieve at HLT the same accuracy as the offline reconstruction.
 - Optimise the subdetectors' calibration process beyond the Prompt Calibration Loop.
 - Introduce data buffering online.
 - Exploit predictive AI techniques.
- Synergy with Run-3 operations.
 - Deploy a prototype of the HLT Scouting workflow (last year of Run-3).
 - Rethink the hardware and software infrastructure for the calibration workflow.



The Prompt Calibration Loop today



Outreach

MasterClass, A Chart in Every School, SPRACE Game, The Particle

CMS: CAÇADOR DE PARTÍCULAS

Comics: The CMS detector (in Portuguese)

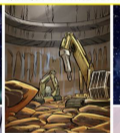


COMO CONSTRUIR UM CAÇADOR DE PARTÍCULAS

1 O CMS ESCOZ EM UM PROFUNDO E GALANTESCO COMPLEXO DE CAVERNAS, A PRINCIPAL LOCALIDADE ABRIÇA-SE TOA A POPULAÇÃO DE GENÈVRA (DE NAO CONTEMPORANEAMENTE, MAS PREPARADOS COMO SARDINHAS EM LATA...)



2 ANTES DE SER ESCAVADO, O TERRENO EM TORNO DO POÇO TEM QUE SER CONGELADO COM NITROGENIO LIQUIDO PARA EVITAR ALAGAMENTO DEVIDO A ESCALADA ATIVIDADE DO LANTAO. FREATICO, UMA CAMADA DE AGUA A 40 M ABaixo DO SOLO.



3 OS PISOS E CAVERNAS FORAM ESCAVADOS USANDO BATE-ESTACAS E ESCAVADORAS, TRABALHANDO CONTINUAMENTE POR QUATRO ANOS.



4 O CMS É DIVIDIDO COMO EM UM QUEBRA-CABEÇA DE 19 PARTES CADAVAS, BASTANTES CLERAMENTE ATÈ A CAVERNA DO EXPERIMENTO.

A PARTE MAIOR PESA 4000 TONELADAS, TEM 16 METROS DE ALTURA E AO PARTES MENORES SÃO MICROSCÓPICAS.

5 CENTENAS DE ESTUDANTES DESVOLVERAM SEUS PROJETOS DE PESQUISA NO CMS.



6 A PARTE DE CIMA DO CMS PRODUZIU OROS DE FISICA FOR PELA MACHO IN PAZOS NOS VERGAMOS DE DIVIUS CADAVAS, NOS PRECISAMOS DE VOZEL!

LINKS
 (CMS) [HTTP://WWW.CERN.CH/CMS](http://www.cern.ch/cms)
 (CMS) [HTTP://CMS.CERN.CH](http://cms.cern.ch)

CRÉDITOS

TEXTOS: EDU. PAI NABEV
 ILUSTRAÇÕES: TEREZA VOLKOVICH
 PRODUÇÃO: RAFAEL MARQUES
 COORDENAÇÃO TÉCNICA: ANDRÉ ANDREYEV E ALICE CAEVARA
 VERSÃO EM PORTUGUÊS: CENTRO REGIONAL DE ANÁLISE DE SÃO PAULO (CORAC) - SP/SP
 DIREÇÃO: PAPAI GALL

UM PROJETO DE PESQUISA COLABORATIVO DO CMS, SUPOSTO DE SUCESSO EM 2005 E 2006, SUPOSTO EM 2007.

CMS: INVESTIGANDO AS QUESTÕES MAIS PROFUNDAS DO UNIVERSO



1 O CMS É CONSTRUÍDO EM UM COMPLEXO DE CAVERNAS, A PRINCIPAL LOCALIDADE ABRIÇA-SE TOA A POPULAÇÃO DE GENÈVRA (DE NAO CONTEMPORANEAMENTE, MAS PREPARADOS COMO SARDINHAS EM LATA...)

2 ANTES DE SER ESCAVADO, O TERRENO EM TORNO DO POÇO TEM QUE SER CONGELADO COM NITROGENIO LIQUIDO PARA EVITAR ALAGAMENTO DEVIDO A ESCALADA ATIVIDADE DO LANTAO. FREATICO, UMA CAMADA DE AGUA A 40 M ABaixo DO SOLO.

3 OS PISOS E CAVERNAS FORAM ESCAVADOS USANDO BATE-ESTACAS E ESCAVADORAS, TRABALHANDO CONTINUAMENTE POR QUATRO ANOS.

4 O CMS É DIVIDIDO COMO EM UM QUEBRA-CABEÇA DE 19 PARTES CADAVAS, BASTANTES CLERAMENTE ATÈ A CAVERNA DO EXPERIMENTO.

A PARTE MAIOR PESA 4000 TONELADAS, TEM 16 METROS DE ALTURA E AO PARTES MENORES SÃO MICROSCÓPICAS.

5 CENTENAS DE ESTUDANTES DESVOLVERAM SEUS PROJETOS DE PESQUISA NO CMS.

6 A PARTE DE CIMA DO CMS PRODUZIU OROS DE FISICA FOR PELA MACHO IN PAZOS NOS VERGAMOS DE DIVIUS CADAVAS, NOS PRECISAMOS DE VOZEL!

LINKS
 (CMS) [HTTP://WWW.CERN.CH/CMS](http://www.cern.ch/cms)
 (CMS) [HTTP://CMS.CERN.CH](http://cms.cern.ch)

CRÉDITOS
 TEXTOS: EDU. PAI NABEV
 ILUSTRAÇÕES: TEREZA VOLKOVICH
 PRODUÇÃO: RAFAEL MARQUES
 COORDENAÇÃO TÉCNICA: ANDRÉ ANDREYEV E ALICE CAEVARA
 VERSÃO EM PORTUGUÊS: CENTRO REGIONAL DE ANÁLISE DE SÃO PAULO (CORAC) - SP/SP
 DIREÇÃO: PAPAI GALL

UM PROJETO DE PESQUISA COLABORATIVO DO CMS, SUPOSTO DE SUCESSO EM 2005 E 2006, SUPOSTO EM 2007.

7 PARTÍCULAS DE PROTONES E NEUTRONS SUPERCONDUZIDAS AO LONGO DE TUBOS DE VÁCUO PELA CÁMERA ANEL, E IMPULSADAS POR UM CAMPO ELÉTRICO DE UMA SUPERTUBO ELÉTRICO DE 400 MV, PARA COLIDIR EM UM PUNTO DE ENCONTRO SUPERCONDUZIDO FOCALIZADO A 400 MV, PARA PRODUZIR UM FEIXE DE PARTÍCULAS DE ALTA ENERGIA.

8 OS PROTONES DO LHC SÃO ACELERADOS ATÈ 400 MV, PARA COLIDIR EM UM PUNTO DE ENCONTRO SUPERCONDUZIDO FOCALIZADO A 400 MV, PARA PRODUZIR UM FEIXE DE PARTÍCULAS DE ALTA ENERGIA.

9 A CÁMERA TEM UMA ENERGIA QUE PARTÍCULAS QUE COLIDEM EM UM PUNTO DE ENCONTRO SUPERCONDUZIDO FOCALIZADO A 400 MV, PARA PRODUZIR UM FEIXE DE PARTÍCULAS DE ALTA ENERGIA.

10 O CMS É CONSTRUÍDO EM UM COMPLEXO DE CAVERNAS, A PRINCIPAL LOCALIDADE ABRIÇA-SE TOA A POPULAÇÃO DE GENÈVRA (DE NAO CONTEMPORANEAMENTE, MAS PREPARADOS COMO SARDINHAS EM LATA...)

11 ANTES DE SER ESCAVADO, O TERRENO EM TORNO DO POÇO TEM QUE SER CONGELADO COM NITROGENIO LIQUIDO PARA EVITAR ALAGAMENTO DEVIDO A ESCALADA ATIVIDADE DO LANTAO. FREATICO, UMA CAMADA DE AGUA A 40 M ABaixo DO SOLO.

12 OS PISOS E CAVERNAS FORAM ESCAVADOS USANDO BATE-ESTACAS E ESCAVADORAS, TRABALHANDO CONTINUAMENTE POR QUATRO ANOS.

13 O CMS É DIVIDIDO COMO EM UM QUEBRA-CABEÇA DE 19 PARTES CADAVAS, BASTANTES CLERAMENTE ATÈ A CAVERNA DO EXPERIMENTO.

14 A PARTE MAIOR PESA 4000 TONELADAS, TEM 16 METROS DE ALTURA E AO PARTES MENORES SÃO MICROSCÓPICAS.

15 CENTENAS DE ESTUDANTES DESVOLVERAM SEUS PROJETOS DE PESQUISA NO CMS.

16 A PARTE DE CIMA DO CMS PRODUZIU OROS DE FISICA FOR PELA MACHO IN PAZOS NOS VERGAMOS DE DIVIUS CADAVAS, NOS PRECISAMOS DE VOZEL!



Lerciência

LEGOS, O GRUDE E O HIGGS

Sérgio F. Novaes

Do que as coisas são feitas? Você, os carros, a rua, as casas, os cadernos, o céu e o chão, as estrelas, será que tudo é feito da mesma coisa? Será que existem algumas peças bem pequenas com as quais conseguimos construir tudo o que existe no mundo?

Se com peças de Lego, de formas e cores diferentes, nós podemos construir um castelo, montar um automóvel ou fazer um avião, será que existem algumas peças com as quais montaríamos tudo que existe no Universo: a água, as pedras, os planetas e as estrelas, além de uma minhoca, do gato do vizinho e de nós mesmos?

Essa pergunta – do que o Universo é feito? – tem sido feita pela humanidade desde a Antiguidade. Hoje, a ciência finalmente conseguiu encontrar uma resposta para essa questão. Durante o último século, os físicos de partículas descobriram quais são as peças que compõem tudo no Universo. Essas peças se chamam partículas. São como Legos minúsculos que formam tudo que conhecemos.

Os Átomos

Lá na Antiguidade, os gregos estudiosos já se perguntavam do que as coisas seriam feitas. Assim nasceu a ideia de que tudo seria composto por átomos. Mas o tempo foi passando e muitos cientistas se perguntavam: será que os átomos podem ser divididos? E a resposta encontrada foi – “sim, os átomos são divisíveis” – apesar do nome dado pelos gregos, que significa, “aquilo que não pode ser quebrado”.

Os átomos são compostos de prótons e nêutrons, que juntos formam os núcleos atômicos, mais os elétrons que ficam perambulando em volta deles. Mas a história não termina aqui. Dá para dividir essas pequenas peças em pedacinhos ainda menores!

Os Quarks e os Léptons

Os prótons e nêutrons possuem partículas dentro deles. Existem Legos ainda menores com os quais construímos esses dois: nós chamamos esses Legos de quarks. Hoje, sabemos que existem ao todo seis tipos diferentes de quarks que possuem uns nomes meio esquisitos, e em inglês: up, down, strange, charm, bottom e top.



Higgs Boson for
Elementary School

Sérgio F. Novaes

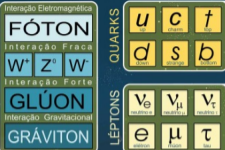
Alice Ruiz

Leda Catunda

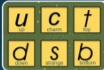
ESTRUTURA ELEMENTAR DA MATÉRIA

25,000 High Schools

PARTÍCULAS MEDIADORAS



QUARKS



LÉPTONS



Léptons

Léptons são partículas que interagem por meio das interações eletromagnética e fraca, mas não interagem com a interação forte. Os elétrons (e) são essenciais e compõem a eletrosfera dos átomos, sendo os responsáveis pelas ligações químicas. O múon (μ) e o tau (τ) possuem características similares às do elétron, mas são instáveis e muito mais pesados, decaindo em partículas mais leves. Os neutrinos (ν) são extremamente leves, sendo produzidos em decaimentos nucleares e na fusão nuclear que ocorre no Sol.

Os elétrons (e) envolvem o núcleo ligando-se quimicamente para produzir a matéria. Os léptons fracos vivem às do elétron decaindo rapidamente.

Os neutrinos (ν) têm carga elétrica e não interagem com a interação forte, sendo capazes de passar por matéria sem sofrer nenhuma alteração. Partículas sem massa ou carga, os fótons são responsáveis pela transmissão da interação entre as partículas eletricamente carregadas.

Partículas Elementares e Modelo Padrão

O Modelo Padrão das interações forte, fraca e eletromagnética é a teoria que melhor descreve como as partículas se comportam sob as forças fundamentais da natureza. Esse modelo é a conquista de mais de um século de testes de diferentes propostas teóricas e vários experimentos na área de Física de Altas Energias. O Modelo Padrão tem apresentado excelentes resultados na descrição das partículas subatômicas e suas interações.

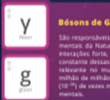
Léptons

Cada família é composta por um lépton carregado e por um neutrino, o qual interage apenas fracamente. Os elétrons (e) são essenciais e compõem a eletrosfera dos átomos, sendo os responsáveis pelas ligações químicas. O múon (μ) e o tau (τ) possuem características similares às do elétron, mas são instáveis e muito mais pesados, decaindo em partículas mais leves. Os neutrinos (ν) são extremamente leves, sendo produzidos em decaimentos nucleares e na fusão nuclear que ocorre no Sol.



Bóson de Higgs

A existência do bóson de Higgs foi sugerida em meados da década de 1960 como uma proposta teórica para explicar o surgimento da massa das partículas elementares. Essa proposta só pôde ser confirmada quase 50 anos depois quando, em 2012, os experimentos CMS e ATLAS do CERN obtiveram evidências claras de sua existência, completando o Modelo Padrão.



Bósons de Gauge

São responsáveis pela intermediação das interações fundamentais da natureza. As partículas sentem cada uma das interações forte, eletromagnética e fraca através da troca constante dessas partículas. A interação gravitacional não é relevante no mundo subatômico; ela é uma centena de milhão de milhão de milhão de milhão de milhão (10⁻²⁹) de vezes mais fraca que as demais interações fundamentais.

Quarks

Quarks são partículas que interagem por meio das interações eletromagnética, fraca e forte. Possuem carga elétrica fracionária, além das "cargas de cor" associadas à interação forte. Eles formam os hádrons: três quarks ou um par quark-antiquark e permanecem confinados, não sendo observados em estado livre. Os quarks da primeira família, up (u) e down (d), formam os prótons (p) e nêutrons (n).

Interações Fortes (g)

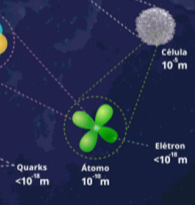
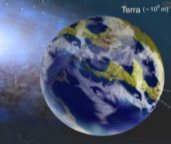
O glúon (g) é a partícula que faz a intermediação da interação forte e é trocado entre os quarks. A interação forte é 100 vezes mais intensa que a interação eletromagnética e seu alcance não vai além do tamanho do próton. É responsável por manter os quarks ligados, formando os hádrons, e seu efeito residual de longa distância mantém prótons e nêutrons unidos no núcleo atômico.

Interações Eletromagnéticas (γ)

O fóton (γ) é o quantum do campo eletromagnético. Partícula sem massa e sem carga, é responsável pela interação entre as partículas eletricamente carregadas. Toda radiação eletromagnética, desde as ondas de rádio, passando pela luz visível, até os raios ultravioleta e gama, é constituída por fótons de diferentes energias.

Interações Fracas (W e Z)

A interação fraca é intermediada pelos bósons W⁺, W⁻ e Z⁰. Ela alcança distâncias mil vezes menores que a interação eletromagnética. A interação fraca é responsável pelo decaimento beta no qual um nêutron se transforma em um próton, emitindo um elétron e seu antineutrino. Desempenha importante papel na geração da energia das estrelas.



Para obter mais informações sobre os conceitos apresentados neste cartaz, acesse: www.sprace.org.br



SPRACE Game

Translated to English and German (AAS)



16 Years of International MasterClass: Hands on Particle Physics

- **Almost 2,500 students**
 - **330+ teachers**
- **80+ High School (public & private)**

Traditional MasterClass

- **Beginners Group (2-day event)**
 - 1st day: introductory talks & demos
 - 2nd day: Event display exerc. & games
- **Advanced Group (1-day event)**
 - Event display exerc. & demos
 - Virtual visits to the CMS detector

MasterClass for Women and Girls

- **Two-day event**
 - 3 discussion panel with (women) scientists
 - Conversation moderated by psychologists
 - Introductory talks (teachers and students)
 - Event display exerc. & demos
 - VC with CERN moderators
 - SPRACE game & visit to datacenter

Impact of the MasterClass at SPRACE was investigated by 3 M.Sc. Dissertations.





Budget

CMS Phase II Upgrade and Computing Resources Required into the HL-LHC Era

The CMS Phase II Upgrade



L1-Trigger

<https://cds.cern.ch/record/2714892>

- Tracks in L1-Trigger at 40 MHz
- Particle Flow selection
- 750 kHz L1 output
- 40 MHz data scouting



DAQ & High-Level Trigger

<https://cds.cern.ch/record/2759072>

- Full optical readout
- Heterogenous architecture
- 60 TB/s event network
- 7.5 kHz HLT output

Barrel Calorimeters

<https://cds.cern.ch/record/2283187>

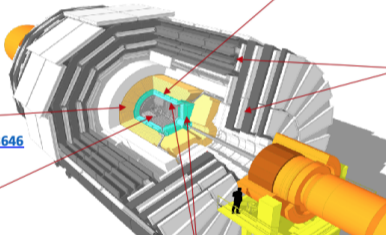
- ECAL crystal granularity readout at 40 MHz with precise timing for e/γ at 30 GeV
- ECAL and HCAL new Back-End boards



Calorimeter Endcap

<https://cds.cern.ch/record/2293646>

- 3D showers and precise timing
- Si, Scint+SiPM in Pb/W-SS



Muon systems

<https://cds.cern.ch/record/2283189>

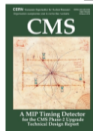
- DT & CSC new FE/BE readout
- RPC back-end electronics
- New GEM/RPC $1.6 < \eta < 2.4$
- Extended coverage to $\eta \approx 3$



Tracker

<https://cds.cern.ch/record/2272264>

- Si-Strip and Pixels increased granularity
- Design for tracking in L1-Trigger
- Extended coverage to $\eta \approx 3.8$



MIP Timing Detector

<https://cds.cern.ch/record/2667167>

Precision timing with:

- Barrel layer: Crystals + SiPMs
- Endcap layer: Low Gain Avalanche Diodes

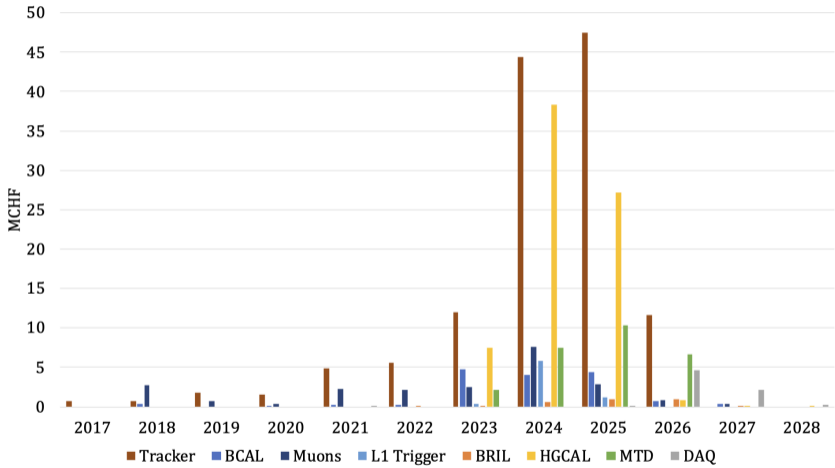
Beam Radiation Instr. and Luminosity

<http://cds.cern.ch/record/2759074>

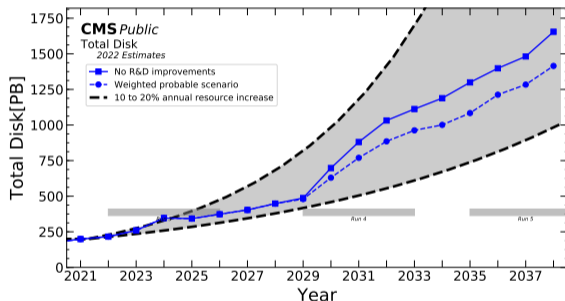
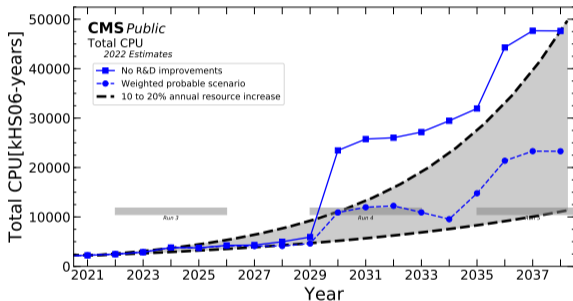
- Beam abort & timing
- Beam-induced background
- Bunch-by-bunch luminosity: 1% offline, 2% online
- Neutron and mixed-field radiation monitors



Phase II Upgrade Projects Spending Profile (March 2024)



CMS CPU and Disk Space Resources Required into the HL-LHC Era



2025–2035: CMS will need 3.5 times more computer power and 4.0 times more disk space.

<https://twiki.cern.ch/twiki/bin/view/CMSPublic/CMSOfflineComputingResults>