

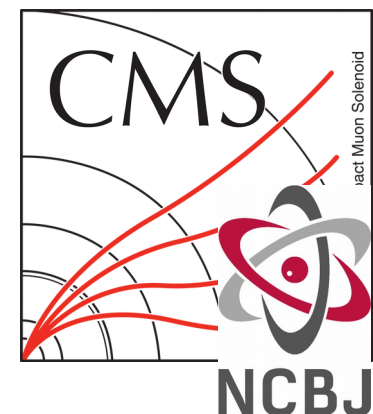
Eksperyment CMS w 2017 r. Obserwacja rozpadu bozonu Higgsa na parę taonów

Michał Bluj

w imieniu zespołu CMS

Plan wystąpienia

- Zespół CMS
- LHC i CMS w 2017 r.
- Działalność i plany
 - Obserwacja rozpadu $H \rightarrow \tau\tau$



Seminarium sprawozdawcze DBP, 9 stycznia 2018 r.

Zespół CMS

⊙ Skład zespołu (autorzy)

- H. Białkowska, M. Bluj, B. Boimska, T. Fruboes*,
M. Górski, M. Kazana, K. Nawrocki*, M. Szleper,
O. Shkola (doktorant), P. Traczyk**, **P. Zalewski**

* W Departamencie Układów Złożonych, DUZ

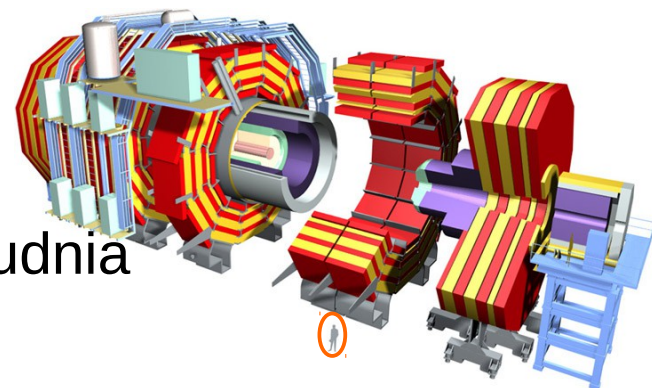
** Powrót (X'17) po pracy w grupach zagranicznych (na stałe w CERN)

- Zespół współtworzy Warszawską grupę CMS wraz z kolegami z Wydziału Fizyki UW oraz Politechniki Warszawskiej (inż. elektronicy)
- W składzie międzynarodowej współpracy eksperymentu CMS, ang. Compact Muon Solenoid, przy LHC w CERN (grupa średnio-mała)



⊙ Od sierpnia 2014 r. część konsorcjum „CMS Polska”

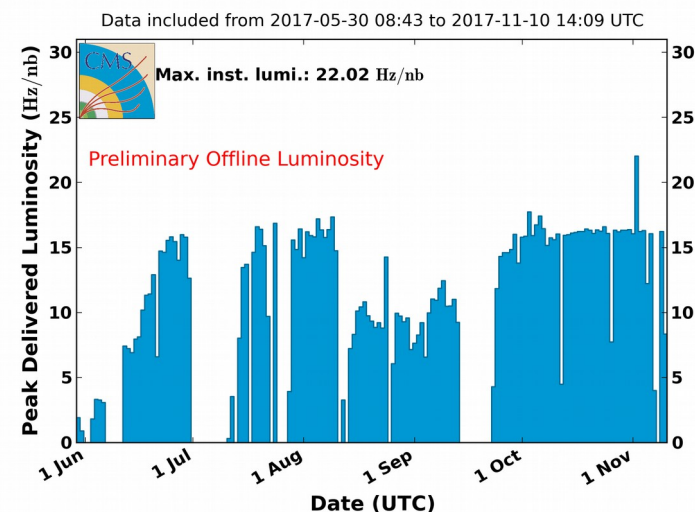
- Utworzone z zespołów na UW i w NCBJ
 - Dwa równorzędne zespoły na UW i w NCBJ
- Koordynator: prof. J. Królikowski (UW)
- PW nie wchodzi w skład konsorcjum, bo nie zatrudnia osób uprawnionych do sygnowania publikacji współpracy CMS
 - Inżynierowie z PW są częściowo zatrudnieni na UW



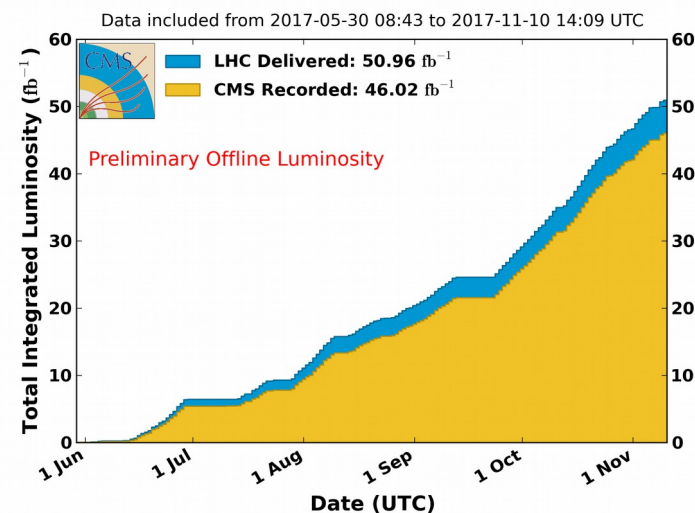
LHC i CMS w 2017 r. (1/2)

- ⊙ Drugi rok intensywnego zbierania danych po uruchomieniu zmodernizowanego LHC i CMS, tzw. LHC Run-2
- ⊙ Podniesienie parametrów pracy LHC względem Run-1 (2010-2012):
 - Energia zderzeń (pp): 8 → 13 TeV
 - Częstość zderzeń: 20 → 40 MHz (50 → 25 ns)
 - Max. świetlnosć pp ok. $1,8 \cdot 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (śr. pileup ~60) przekroczyła planową $1,4 \cdot 10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
 - Scałkowana świetlnosć pp: 4/fb+41/fb+51/fb (2015+16+17)
 - 2/fb+36/fb+**42/fb** „złoty”: efektywność zbierania i certyfikacji danych w 2017 r. odpowiednio **88%** i **95%**, cf. 25/fb w Run-1
 - Dodatkowo:
 - pp przy 5 TeV ref. dla PbPb i pPb: 320/pb,
 - XeXe przy: 3,66/μb przy 5,44 TeV
- ⇒ **Aktywny udział w zbieraniu danych**
 - 3 osoby × 1-2 miesiące na „szychtach” trygera
 - **Koordinacja grupy roboczej trygera i rekonstrukcji tau (M.B.)**

CMS Peak Luminosity Per Day, pp, 2017, $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$



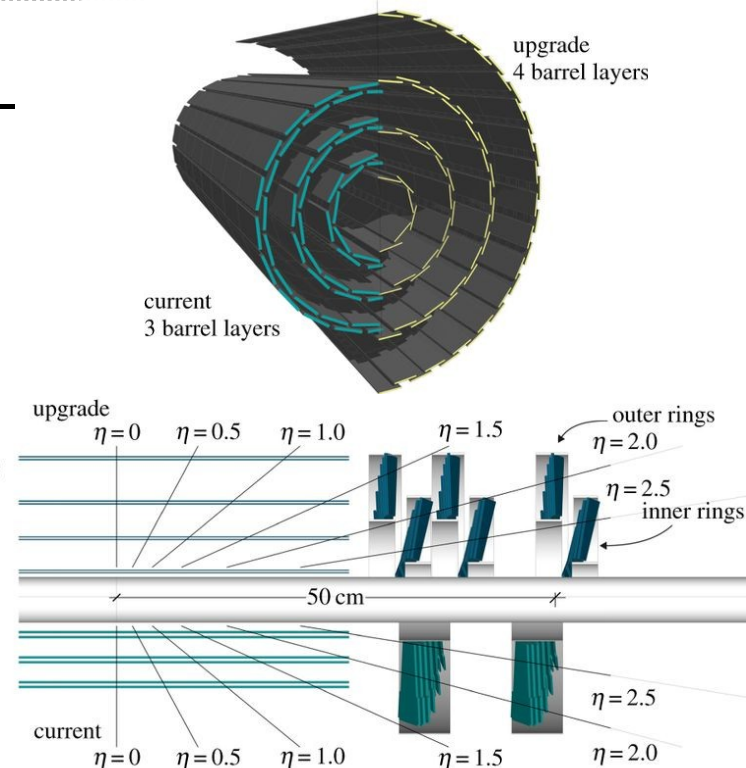
CMS Integrated Luminosity, pp, 2017, $\sqrt{s} = 13 \text{ TeV}$



LHC i CMS w 2017 r. (2/2)

- ⊙ Istotna modernizacja detektora CMS: instalacja nowego detektora pixelowego zimą/wiosną 2016-2017
 - Zwiększona liczba warstw aktywnych: 3 → 4 (beczka), 2 → 3 (pokrywy)
 - Ostateczne uruchamianie w czasie zderzeń pp (nie bez problemów wieku dziecięcego)
- ⊙ Analizy 36/fb danych pp przy 13 TeV z 2016 r.
- ⊙ Prace bezpośrednim udziałem grupy z NBCJ
 - Utrzymanie i usprawnianie trygera mionowego Level-1 w obszarze zakładek (overlap)
 - Poszukiwanie długożyciowych cząstek naładowanych, HSCP (ang. Heavy Stable Charged Particles)
 - Fizyka leptonu tau:
 - Optymalizacja rekonstrukcji i identyfikacji leptonu tau (offline & tryger),
 - Poszukiwanie bozonu(ów) Higgsa w rozpadach $H \rightarrow \tau\tau$

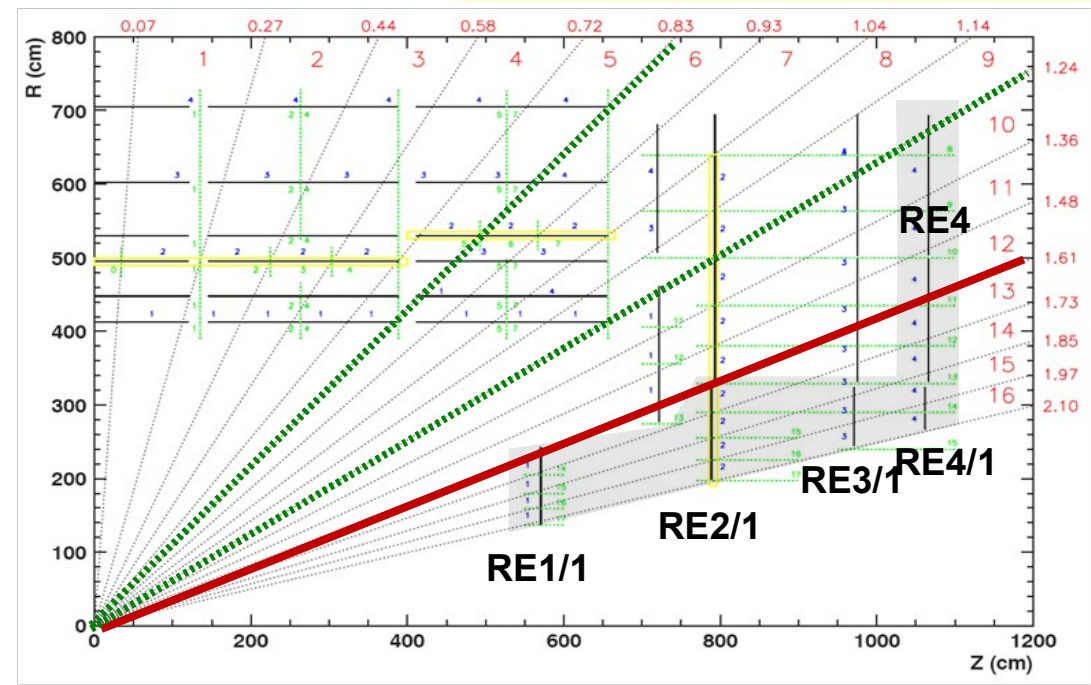
=> wybrane szczegóły dalej



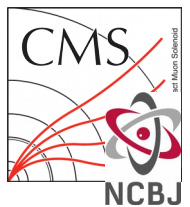
System wyzwalania na miony (1/2)

FUW:
M. Konecki, A. Kalinowski,
 K. Buńkowski, ...
 NCBJ:
 M. Bluj, M. Górski,
 M. Szleper, M. Kazana
 + elektronicy z PW

- ⊙ **Warszawska grupa CMS zbudowała i jest odpowiedzialna za działanie mionowego trygera L1^{1,2}**
 - Utrzymanie w działaniu systemu akwizycji danych komór RPC
- ⊙ **W latach 2015/16 reorganizacja trygera mionowego L1 – grupa warszawska odpowiedzialna za obszar między beczką a pokrywami (overlap) $0,8 < |\eta| < 1,25$**
 - Integracja sygnałów z 3 typów komór (DT, CSC, RPC) w jednym algorytmie
 - Obszar trudny ze względu na nietrywialną geometrię komór i pola magnetycznego
 - Kierownik: M. Konecki (FUW), finansowanie ramach NCN OPUS



1. Miony są jednymi z najlepiej rekonstruowanych i identyfikowanych cząstek w CMS o **kluczowym znaczeniu dla uprawianej fizyki**; **M** w **CMS** pochodzi od Muon.
 2. Tryger, system wyzwalania, detektora CMS ma dwa stopnie (ang. levels): L1 oparty o dedykowaną elektronikę i High Level (HLT) oparty o farmę komercyjnych procesorów (typu Xeon).

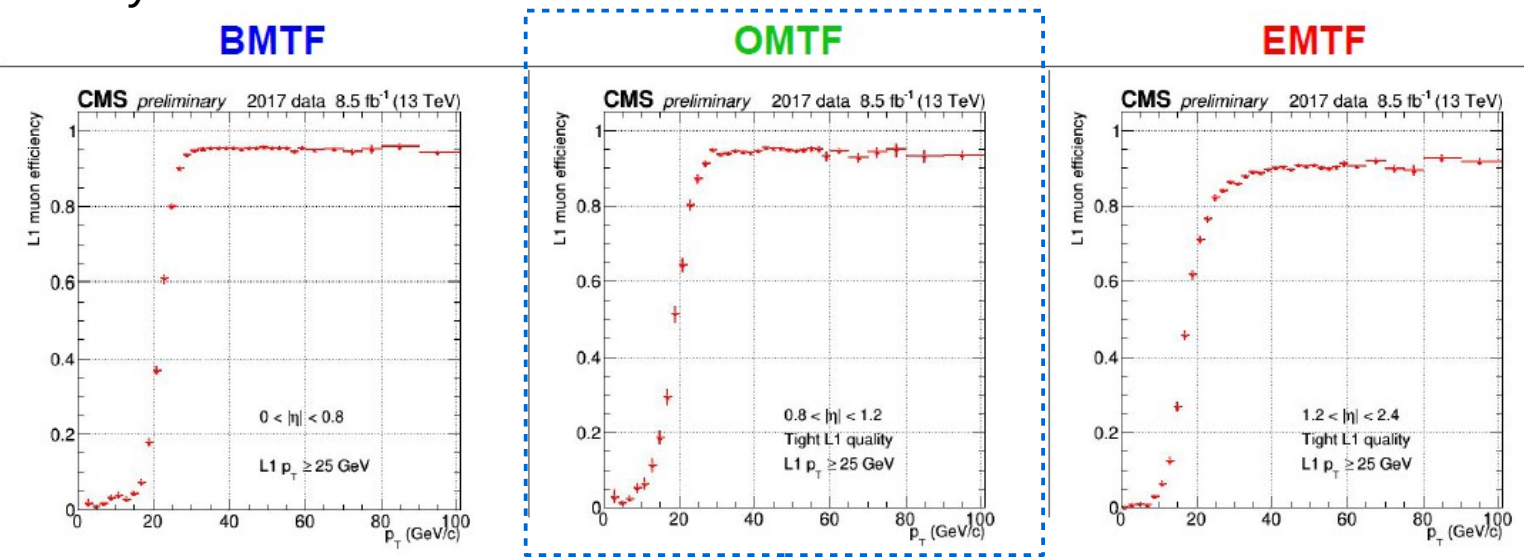


System wyzwalania na miony (2/2)

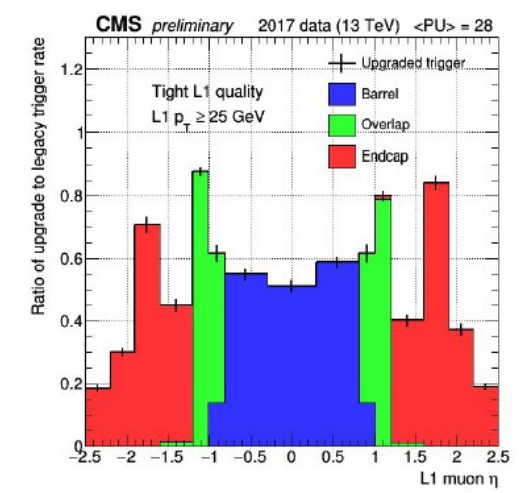
- Warszawska grupa CMS zbudowała i jest odpowiedzialna za działanie mionowego trygera L1^{1,2}
- Bardzo dobre działanie trygera mionowego L1 (w tym w overlap: OMTF) w roku 2017
 - Efektywność ~98%, rate jak założony

FUW:
M. Konecki, A. Kalinowski,
 K. Buńkowski, ...
 NCBJ:
 M. Bluj, M. Górski,
 M. Szleper, M. Kazana
 + elektronicy z PW

Efektywność



Rate (nowy vs stary)



- Miony są jednymi z najlepiej rekonstruowanych i identyfikowanych cząstek w CMS o **kluczowym znaczeniu dla uprawianej fizyki**; **M** w **CMS** pochodzi od Muon.
- Tryger, system wyzwalania, detektora CMS ma dwa stopnie (ang. levels): L1 oparty o dedykowaną elektronikę i High Level (HLT) oparty o farmę komercyjnych procesorów (typu Xeon).

Poszukiwanie cząstek długożyciowych

P. Zalewski, M. Kazana, O. Shkola (nowy doktorant), z pomocą T. Fruboesa, K. Nawrockiego, P. Traczyka

12.9 fb⁻¹ (13 TeV)

Tracker + TOF

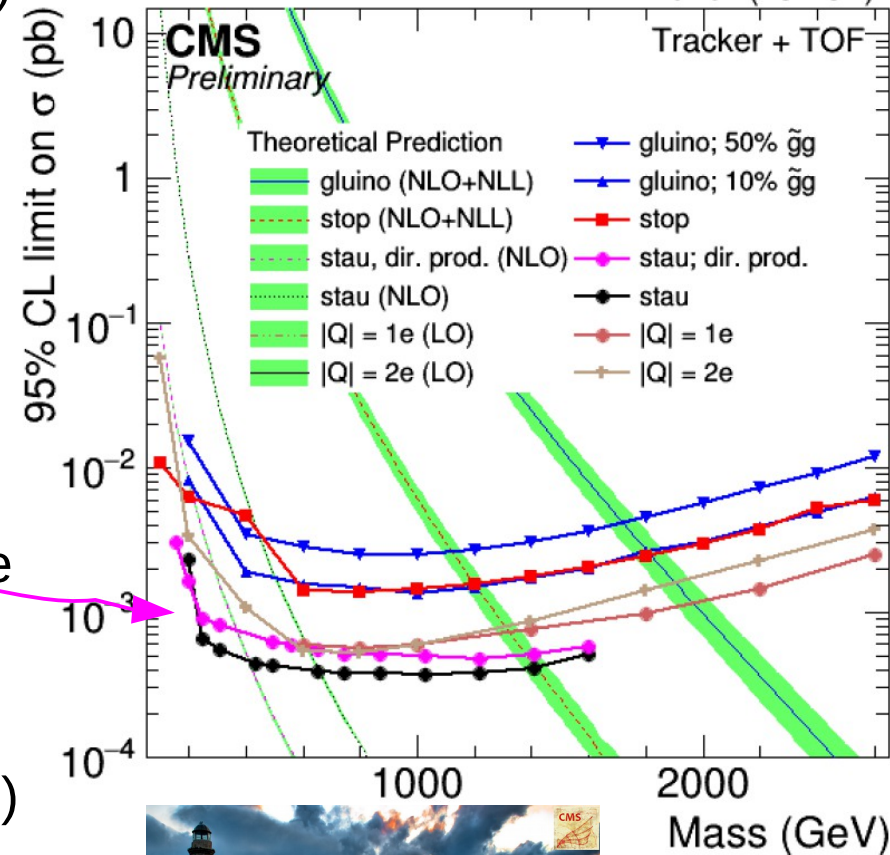
- ◎ Aktywny udział w pracach grup poszukujących nowych cząstek, w tym naładowanych cząstek długożyciowych (HSCP)

- Grant NCN OPUS (P. Zalewski, od IX.2015)

- Wyznaczone najlepsze dostępne ograniczenia na masy hipotetycznych cząstek HSCP w różnych modelach (np. stau), nota CMS-PAS-16-036

- W oparciu o pomiar dE/dx w detektorze śladowym i TOF w systemie mionowym

- Wyniki w oparciu o nowe dane w przygotowaniu na Moriond 2018
- Rozszerzenie analizy o cząstki rozpadające się poza detektorem
- Udział w grupach zatwierdzających wyniki analiz (w tym w roli przewodniczącego, P.T.)
- Przeglądowe wystąpienie konferencyjne (M.K.)



Obserwacja rozpadu $H \rightarrow \tau\tau$

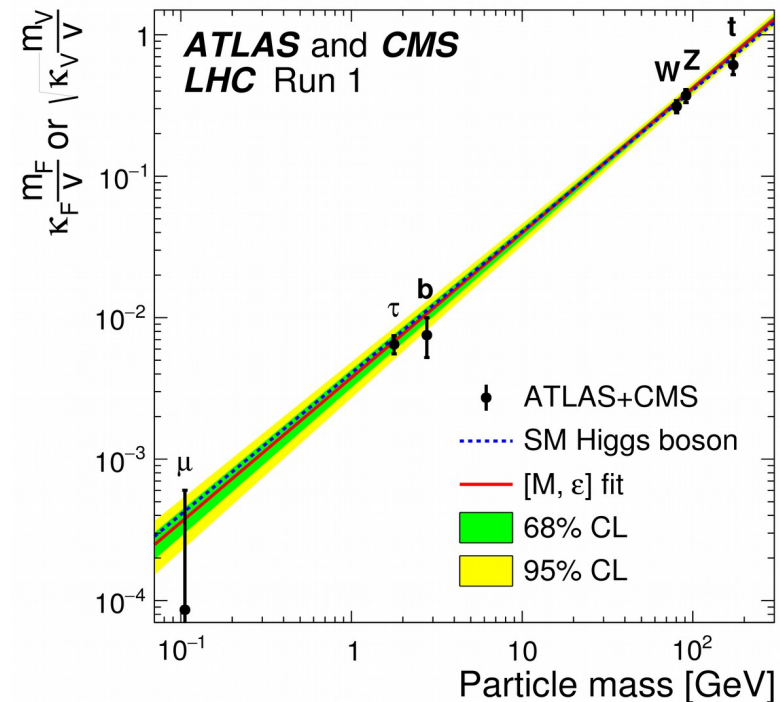
Rozpad $H \rightarrow \tau\tau$

- ⊙ Zaangażowanie w badanie bozonu Higgsa w rozpadach na leptony tau
 - Najlepszy z dostępnych w LHC procesów do badania sprzężenia Yukawy
 - Rozpad b. istotny w poszukiwaniach dodatkowych bozonów Higgsa (MSSM, 2HDM,...) ze względu na możliwe wzmocnione sprzężenie do (dolnych) fermionów
 - Grant NCN OPUS (M. Bluj, od I.2015)

M. Bluj,
 A. Kalinowski (FUW),
 + doktoranci
 M. Olszewski (FUW),
 A. Pyskir (FUW)

- ⊙ Cele Run-2 (z naszym udziałem)
 - Niezależna (jeden eksperyment) obserwacja rozpadu $H \rightarrow \tau\tau$ wraz z pomiarem sprzężeń z precyzją $\sim 30\%$
 => Zrealizowany z danymi 2016 – publikacja zaakceptowana przez JHEP
 - Cel długoterminowy: badanie własności b. Higgsa w tym rozpadzie, m.in. parzystości CP (produkcja i rozpad)
 => wstępne wyniki oczekiwane latem'18, poprawione latem/jesienią'19 z użyciem pełnych danych Run-2 (2016-18)

Siła sprzężenia do bozonu Higgsa w funkcji masy cząstki

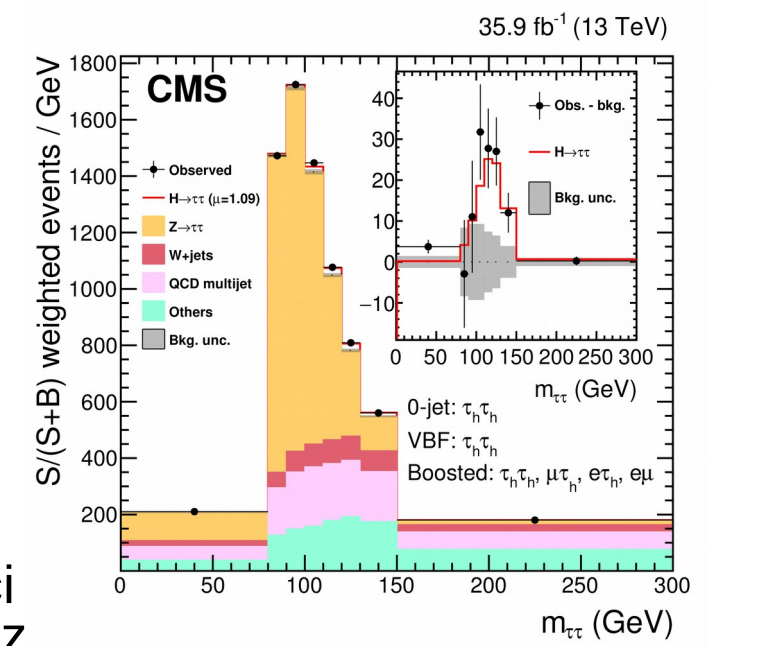
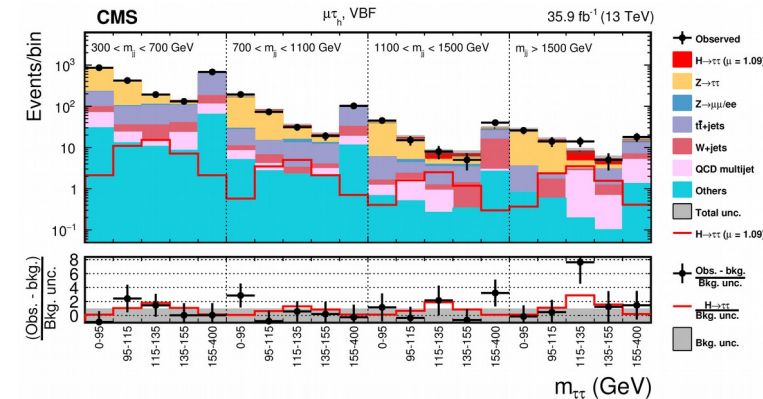




Obserwacja $H \rightarrow \tau\tau$ (1/2)

M. Bluj,
A. Kalinowski (FUW),
+ doktoranci
M. Olszewski (FUW),
A. Pyskir (FUW)

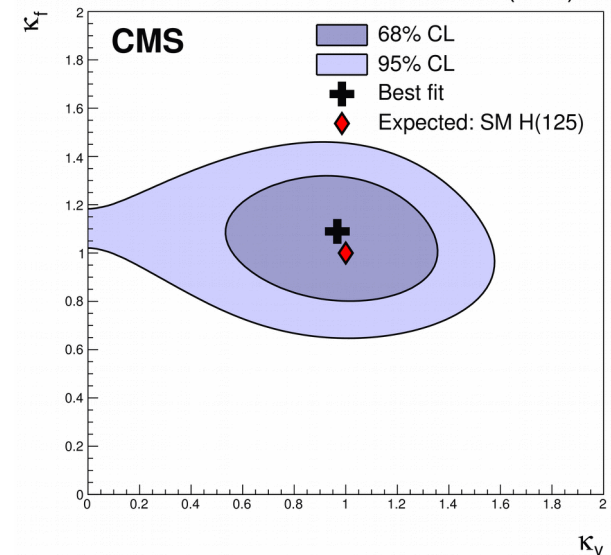
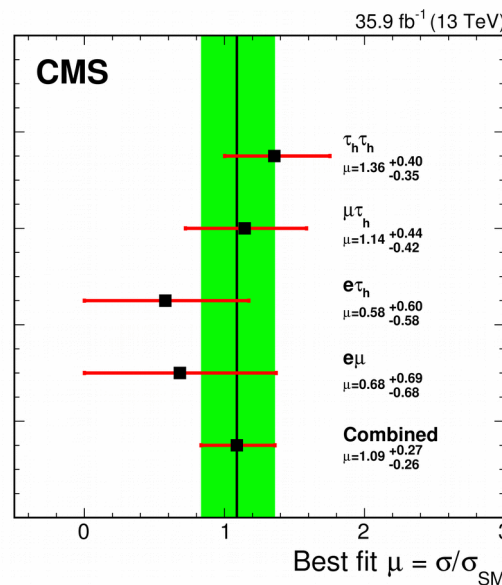
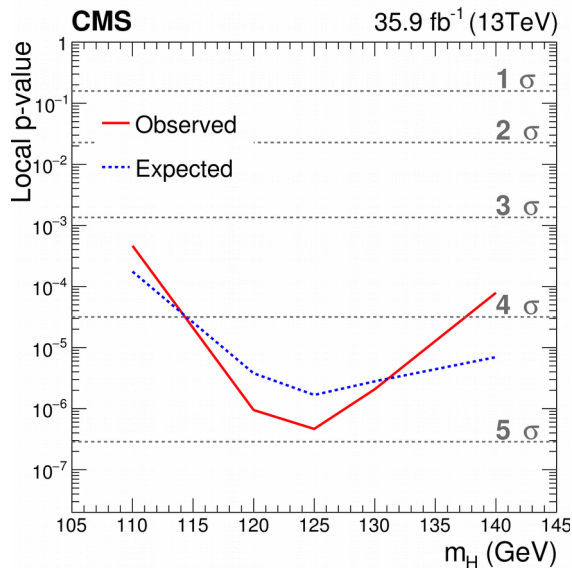
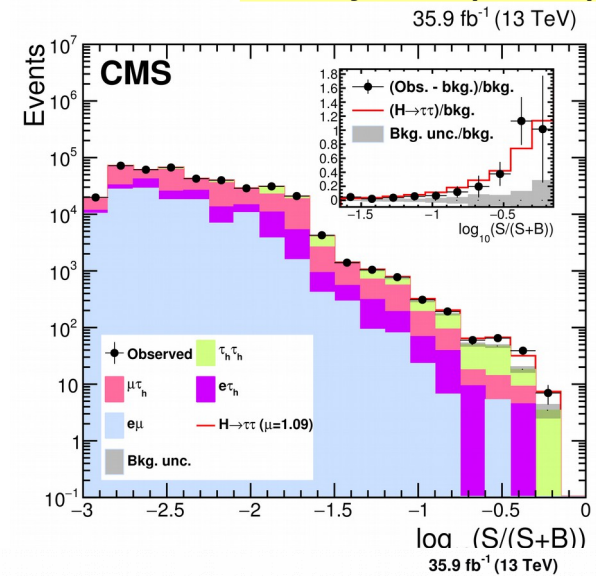
- ⊙ Pomiar w czterech głównych stanach końcowych:
 $\tau_h \tau_h, \mu\tau_h, e\tau_h, e\mu$
- ⊙ Podział na trzy kategorie: 0-jet, VBF (2 jety o dużej masie, m_{jj}), boosted (1,2 jety)
 - Czułość na różne procesy produkcji, różny stosunek sygnału do tła
- ⊙ Fit oczekiwanego tła(+sygnału) do danych
 - Dwuwymiarowe rozkłady: masa $m_{\tau\tau}$ + zmienna zależna od kategorii, np. m_{jj} (VBF), $p_{T^{\tau\tau}}$ (boosted)
- ⊙ Kluczowe składniki analizy:
 - Efektywny tryger o niskich progach
 - Bezpośredni udział w definiowaniu trygerów L1 μ oraz HLT $\tau_h + X$
 - Efektywny algorytm rekonstrukcji i identyfikacji τ_h ($\epsilon \sim 60\%$, mis-Id $\sim 0.5\%$)
 - Bezpośredni udział w tworzeniu algorytmu i wyznaczania z danych poprawek do symulacji
 - Masa, $m_{\tau\tau}$: neutrino w rozpadach tau = „niewidoczny komponent” => $m_{\tau\tau}$ za pomocą maksymalizacji funkcji największej wiarygodności z użyciem widocznych produktów i MET (SVFit), z udziałem A. Kalinowskiego



Obserwacja $H \rightarrow \tau\tau$ (2/2)

M. Bluj,
 A. Kalinowski (FUW),
 + doktoranci
 M. Olszewski (FUW),
 A. Pyskir (FUW)

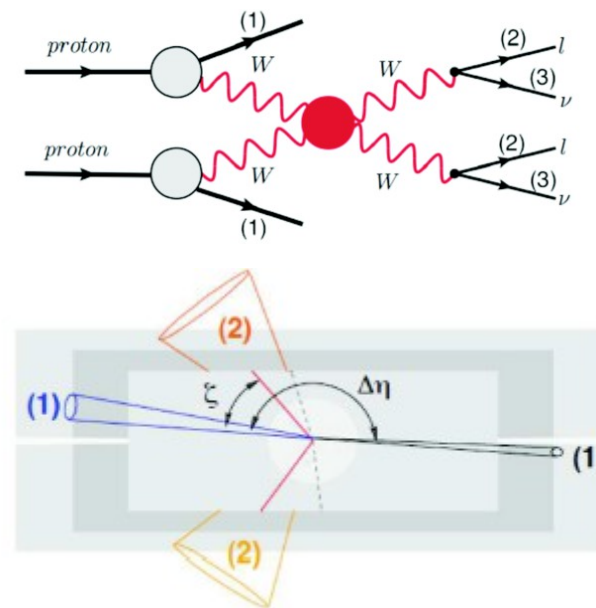
- ⊙ Obserwacja ze znaczącością 4.9σ
 - 2016+Run-1: 5.9σ
- ⊙ Siła sygnału, $\sigma/\sigma_{SM} = 1.09 \pm 0.27$
 - Zgodna między kanałami i kategoriami
- ⊙ Sprzężenia zgodne z oczekiwaniami Modelu Standardowego (z precyzją ok. 30%)



Inne spojrzenia

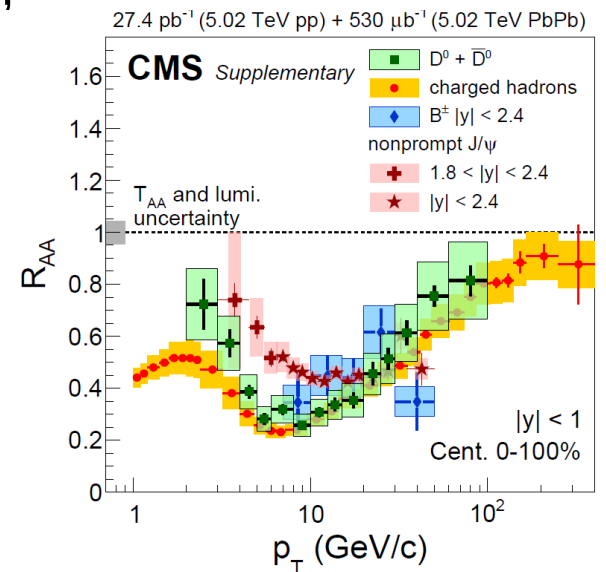
⊙ Rozpraszanie bozonów wektorowych – badanie mechanizmu łamanie symetrii elektroslabej (M. Szleper)

- Niezależne od badania własności b. Higgosa próbkowanie unitaryzacji procesu $VV \rightarrow VV$
- Dostępne w LHC z $O(1)/\text{ab}$ danych – oczekiwana w tzw. High-Luminosity (HL)/Phase-2 LHC => działalność przyszłościowa
- Bliska współpraca z teoretykami z FUW, m.in. S. Pokorskim, J. Kalinowskim, J. Rośkiem
 - Praca nad publikacją (rozważany scenariusz w którym wszystkie pomiary w LHC poza VBS są zgodne z Modelem Standardowym)
- Udział w pracach w ramach VBSCan (COST network, EU H2020)



⊙ Produkcja ciężkich zapachów w zderzeniach ciężkich jonów (B. Boimska)

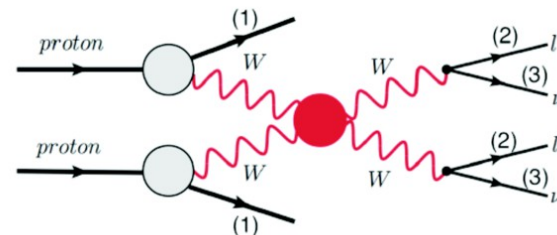
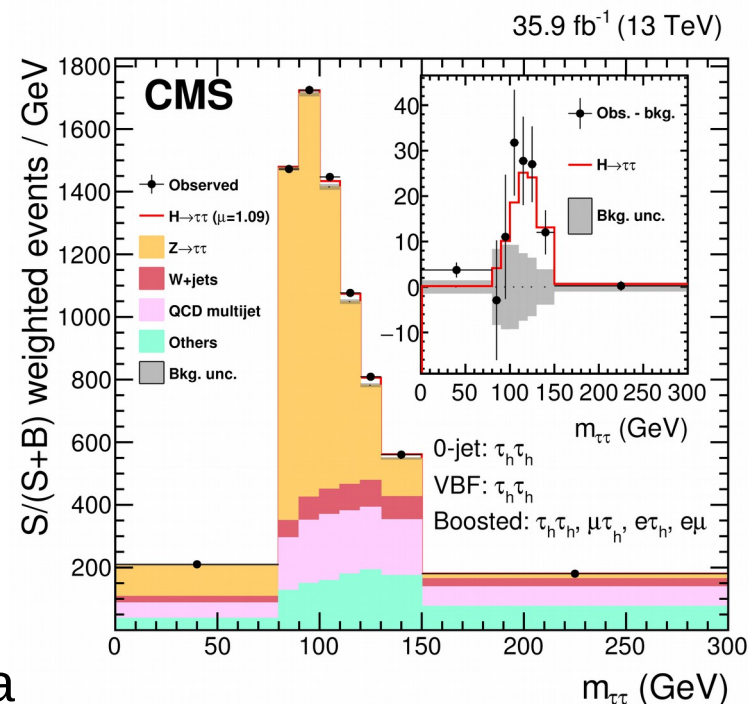
- Ciężkie zapachy (c, b) jako próbnik gorącej materii produkowanej w zderzeniach ciężkich jonów
- Aktywny udział w (wewnętrznym) recenzowaniu publikacji CMS na ten temat
- Prezentacja wyników na Initial Stages 2017



Podsumowanie

Drugi pełny rok działania LHC z energią zderzeń pp podniesioną do 13 TeV

- Nominalna świetlność przekoczona w 2017
 - Dostarczone 51/fb danych z czego 42/fb „złoty” danych do analizy (b. wysoka efektywność zbierania danych CMS) => podwojenie ilości danych pp z 13 TeV
- CMS z nowym detektorem pixelowym
- **Bardzo dobre działanie nowego trygera mionowego L1 opracowanego przez grupę warszawską**
- Aktywne uczestnictwo w analizie danych:
 - Poszukiwanie HSCP (wyniki o nowe dane na Moriond'18)
 - Badanie b. Higgsa w rozpadzie $H \rightarrow \tau\tau$
 - **Obserwacja $H \rightarrow \tau\tau$ w oparciu o dane 2016**
 - Badanie własności m.in. CP: prace w toku (lato'18)
- W kierunku badanie podstaw łamania symetrii elektroslabej z HL-LHC: prace nad rozpraszaniem VV



Dodatki

Finansowanie

- ⊙ **Złożony projekt na finansowanie działalności konsorcjum CMS Polska (FUW+NCBJ) do MNiSW**
 - Przygotowanie do tzw. Phase-2 upgrade tj. do modernizacji detektora w celu działanie przy High-Luminosity LHC
 - Zobowiązana w stosunku do eksperymentu: składki, udział w zbieraniu danych, bieżące utrzymanie „warszawskiego” trygera mionowego level-1
- ⊙ **Grant OPUS (M. Bluj) na badanie b. Higgsa w kanale $H \rightarrow \tau\tau$ od I.2015 r.**
 - 36 miesięcy, od 22.01.2015, wykonywany wspólnie z kolegami z FUW (zespół 5cio osobowy w tym dwóch doktorantów)
 - Nominalnie do 21.01.2018, przedłużony o 12 miesięcy w celu analizy danych zebranych w 2017 oraz ostatecznie skalibrowanych danych 2016 (badanie CP Higgsa w procesie $H \rightarrow \tau\tau$)
- ⊙ **Grant na poszukiwanie HSCP¹ (P. Zalewski) w ramach NCN OPUS**
 - 36 miesięcy, od września 2015 r.
 - Zespół: P. Zalewski z M. Kazaną, T. Fuboesem, K. Nawrockim i O. Shkolą (doktorantem) oraz studentami stypendystami

1. HSCP: Heavy stable charged particle

Poszukiwanie cząstek długożyciowych

P. Zalewski, M. Kazana,
O. Shkola (nowy doktorant),
z pomocą T. Fruboesa,
K. Nawrockiego, P. Traczyka

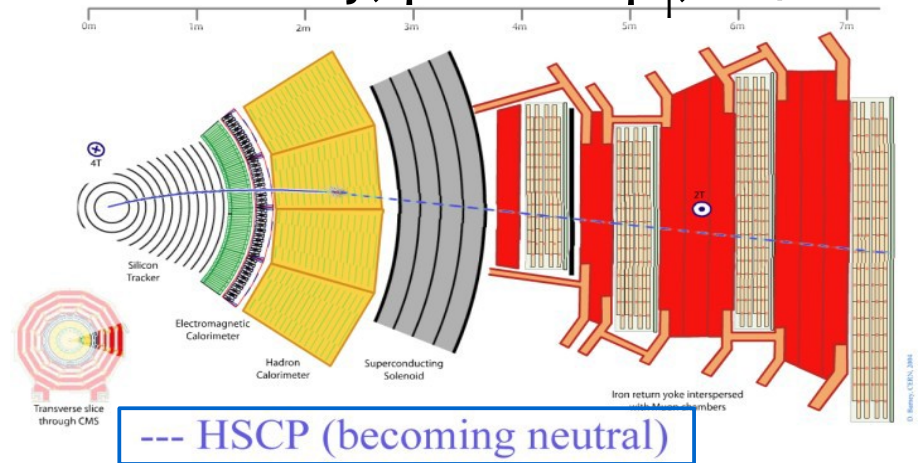
⊙ Aktywny udział w analizie danych pp przy energii 13 TeV pod kątem poszukiwania naładowanych cząstek długożyciowych (HSCP)

○ Grant NCN OPUS (P. Zalewski, od 9.2015)

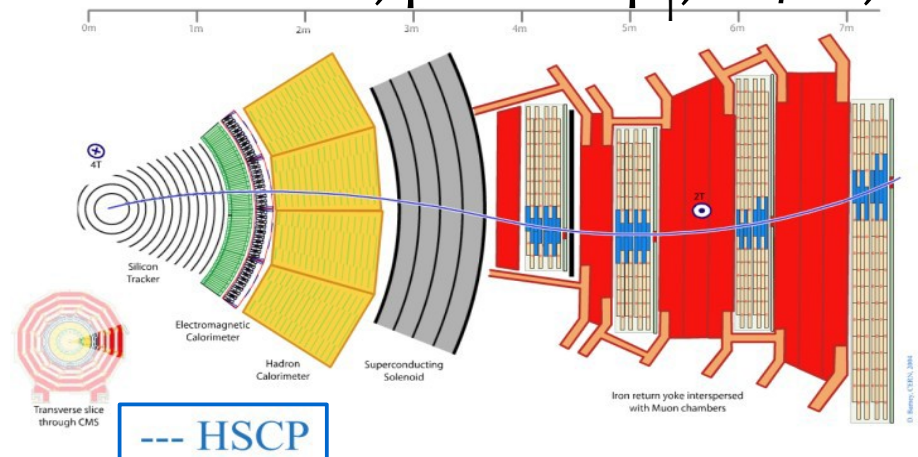
⊙ Sygnatury masywnej długożyciowej cząstki naładowanej:

- Nietypowa w porównaniu do cząstek w Modelu Standardowym jonizacja w detektorze śladowym dE/dx
- Wydłużony czas przelotu, **TOF** (ang. time-of-flight), mierzony w systemie mionowym związany z masowością cząstki: $\beta^{HSCP} < 1$ vs $\beta^{muon} \sim 1$
- Cząstki rozpadające się na zewnątrz detektora („bumerang”)

Tracker-Only; pomiar: p_T , dE/dx



Tracker+TOF; pomiar: p_T , dE/dx , TOF



Rekonstrukcja leptonu tau

◉ Jedyne lepton wystarczająco ciężki by się rozpadać na hadrony ($Br \sim 64\%$)

- Rozpady leptonowe rekonstruowane jako „normalne” elektrony i miony (oraz brakująca energia)

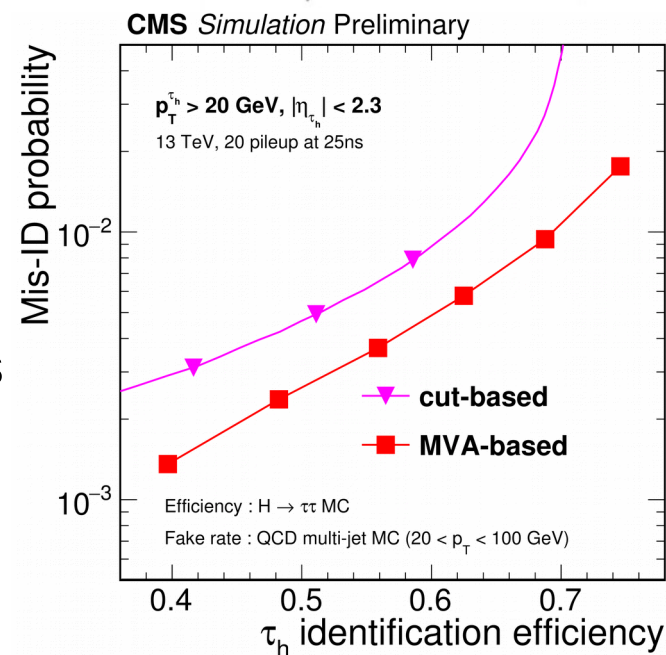
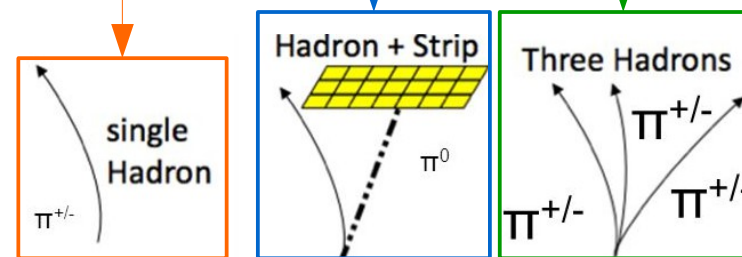
=> Specjalny algorytm do rekonstrukcji rozpadów hadronowych (τ_h) hadrons-plus-strips (HPS)

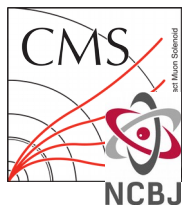
- Łączy naładowane hadrony (tor+depozyty w kalorymetrach) oraz paski (ang. strips) tj. klastry fotonów z rozpadu π^0 zgodnie z modami rozpadu
- Wymagana zgodność z masą pośredniego rezonansu hadronowego (ρ, a_1)
- Efektywność $\sim 50-60\%$, mis-Id $< 1\%$

Publikacja pt. *Performance of reconstruction and identification of tau leptons in their decays to hadrons and tau neutrino with the CMS detector in pp collisions at 13 TeV* w przygotowaniu

M. Bluj kierownikiem grupy roboczej CMS tzw. Physics Object Group odpowiedzialnej za identyfikację oraz trygery tau (IX.2015-IX.2017)

Decay mode	Resonance	B (%)
Leptonic decays		
$\tau^- \rightarrow e^- \bar{\nu}_e \nu_\tau$		17.8
$\tau^- \rightarrow \mu^- \bar{\nu}_\mu \nu_\tau$		17.4
Hadronic decays		
$\tau^- \rightarrow h^- \nu_\tau$		11.5
$\tau^- \rightarrow h^- \pi^0 \nu_\tau$	$\rho(770)$	25.9
$\tau^- \rightarrow h^- \pi^0 \pi^0 \nu_\tau$	$a_1(1260)$	9.5
$\tau^- \rightarrow h^- h^+ h^- \nu_\tau$	$a_1(1260)$	9.8
$\tau^- \rightarrow h^- h^+ h^- \pi^0 \nu_\tau$		4.8
others		3.3





CMS na T2_PL_Swierk

T. Fruboes, H. Giemza, K. Nawrocki (DUZ)

Od 9.2014 w Centrum Informatycznym w Świerku działa klaster Tier-2 CMS

Zasoby klastra

- 6000 HEP SPEC 06
- 300 TB dysków
- Dedykowane łącze 10 Gbps dla CIŚ

Klaster został w 2015 udostępniony użytkownikom warszawskiej grupy CMS

