

60 lat CERN i 30 lat Polski w CERNie

Jan Królikowski,
krolikow@fuw.edu.pl

Zakład Fizyki Cząstek i Oddziaływań Fundamentalnych
Instytut Fizyki Doświadczalnej
Wydział Fizyki
Uniwersytetu Warszawskiego

60 LAT CERN I 30 LAT Z UDZIAŁEM POLSKI

PROF. JAN KRÓLIKOWSKI

<http://cms.fuw.edu.pl/>

O GODZINIE
18:00

23 WRZEŚNIA 2021

SOURCE: CERN



WYDZIAŁ
FIZYKI
UW

ZAPYTAJFIZYKA.FUW.EDU.PL/ONLINE

Wprowadzenie

Będę mówić o największym na świecie laboratorium badań podstawowych, o Europejskim Laboratorium Fizyki Cząstek CERN w Genewie.

CERN ma niemal 70 lat- powstał w 1952-53 jako wspólny projekt 12 państw europejskich. Obecnie CERN liczy 23 kraje członkowskie.

Od 1991 **Polska** jest członkiem CERN; od **30 lat** jest to więc także **polskie laboratorium**.

Związki polskich fizyków z CERNem datują się od końca lat 1950. Krótko przedstawię historię tych związków.

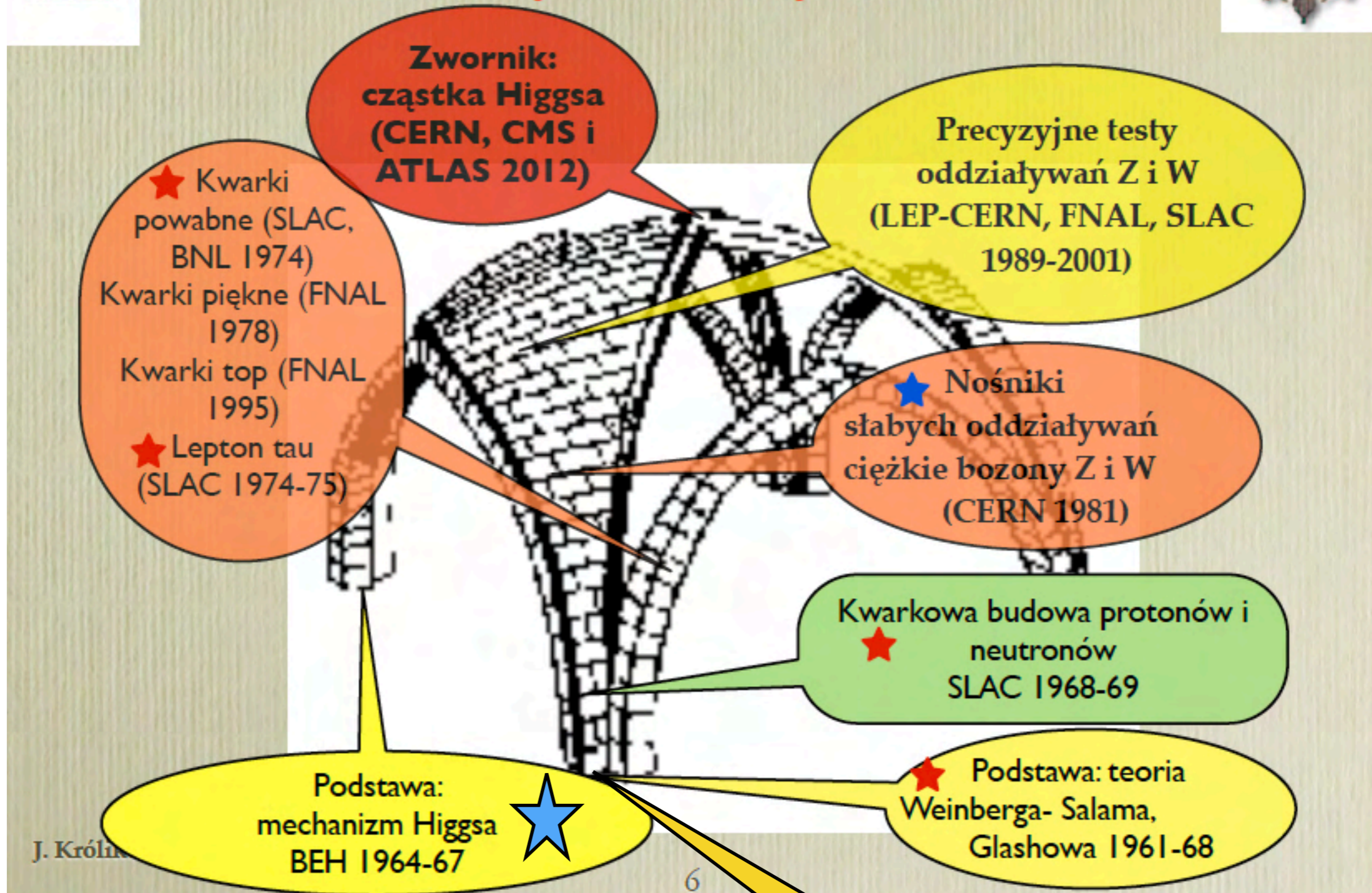
Fizyka cząstek to dziedzina badań podstawowych charakteryzująca się:

- ➔ dużymi, globalnymi zespołami naukowymi,
- ➔ wielką aparaturą badawczą (akceleratorami, detektorami i centrami obliczeniowymi),
- ➔ **długotrwałymi** programami badawczymi i eksperymentami,
- ➔ Silnymi związkami między eksperymentem i teorią.

Będę się starał przybliżyć badania prowadzone w CERNie poprzez pryzmat najważniejszych tam dokonanych odkryć. Omówię kilka wybranych wyników dotyczących badania oddziaływań elektrosłabych (zunifikowanych w ramach Modelu Standardowego)



Model Standardowy jest kunsztowną budowlą wznoszoną od > 50 lat



Plan

1. **Geneza Europejskiego Laboratorium Fizyki Cząstek CERN**
2. **Największe odkrycia naukowe w CERNie : 1950 (SC), 1970 (SPS), 1980 (proton-antyproton SPS), 1990 (LEP), 2010 (LHC)**
3. **Polacy w CERNie; od lat 1950 do chwili obecnej**
4. **Przyszłe plany światowej i Europejskiej fizyki cząstek**
 - ➔ **Plany Polskiej fizyki cząstek**

Geneza CERN

Na początku (1953-55) było tak

- 1949 Luis De Broglie proponuje utworzenie laboratorium europejskiego na Kongresie Kultury w Lozannie.
- 1950 Isidor Rabbi przeprowadził rezolucje n.t. tworzenia regionalnych laboratoriów na Konferencji Generalnej UNESCO we Florencji.
- XII 1951 UNESCO w Paryżu – Pierwsza uchwała na temat powołania Europejskiej Rady Badań Jądrowych (CERN).
- XI 1952 Podpisanie porozumienia w tej sprawie przez 11 krajów europejskich.
- 1954 Ostateczne ratyfikowanie Konwencji CERN przez 12 krajów europejskich

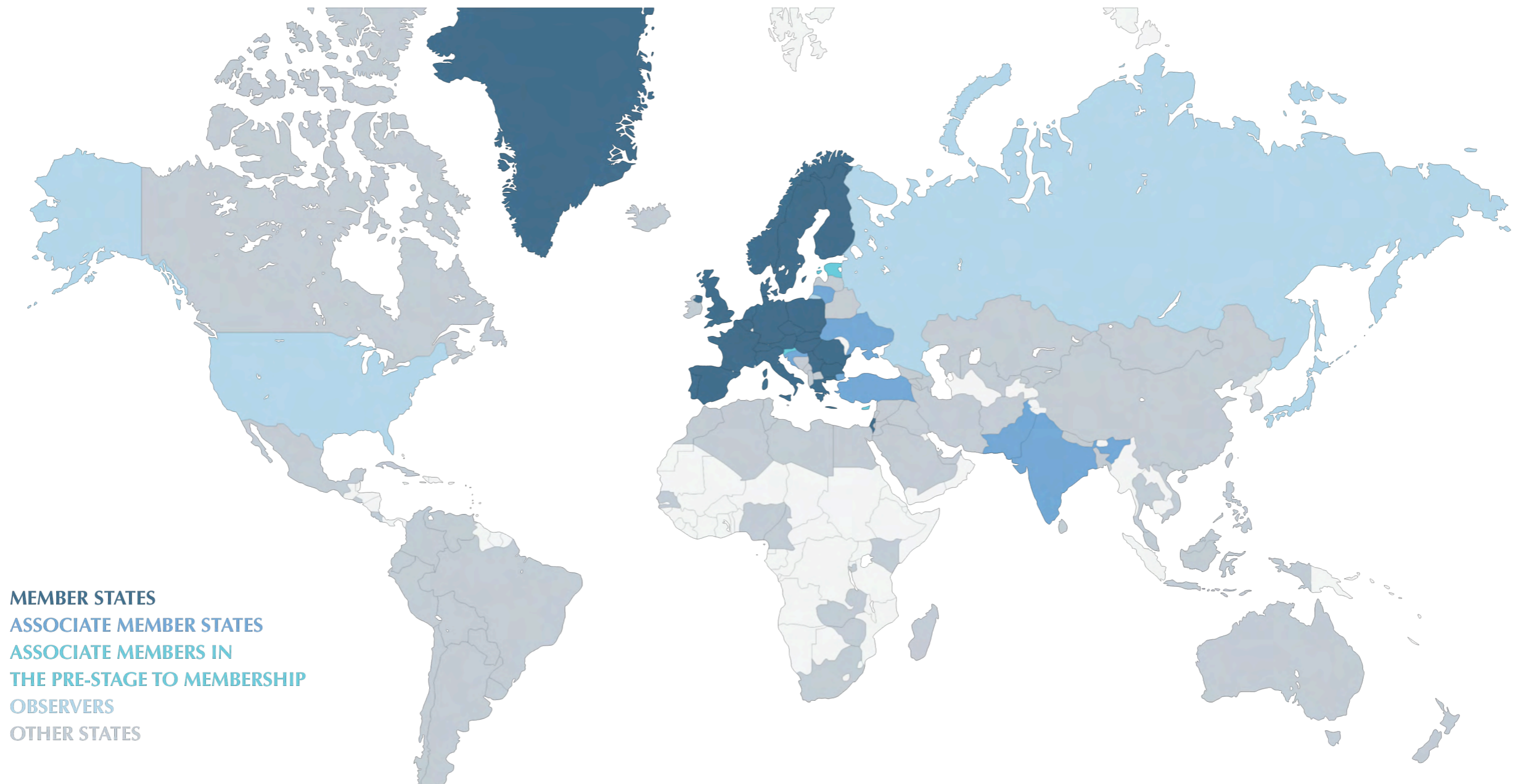


Prof. Feliks Bloch (1s-zy Dyrektor CERN) i Prezydent Konfederacji Szwajcarskiej Max ~Petitpierre patrzą na łąkę w podgenewskim Meyrin gdzie wkrótce rozpocznie się budowa CERN

Obecnie:

23 Kraje Członkowskie, 3 Kraje Obserwatorzy (USA, JPN, FR)

Kilka Krajów Stowarzyszonych, grupy naukowe z całego świata



CERN ma ~12 000 użytkowników z całego świata

Utrzymanie CERN

Roczny budżet CERN to ok. 1200 MCHF.

Budżet CERN jest w zasadzie stały, z niewielkimi poprawkami na coroczną inflację.

Budżet pochodzi przede wszystkim ze składek 23 Krajów Członkowskich. Kraje Stowarzyszone i Kraje Obserwatorzy wnoszą niewielki wkład.

Składki członkowskie obliczane są wg. corocznego PKB/ głowę mieszkańca w Krajach Członkowskich.

Wkład Polski kształtuje się na poziomie 3% budżetu CERN.

Specyfika CERN jako laboratorium

Ciągle modernizowany i rozbudowywany kompleks akceleratorów:

- 1958 Synchrotron SC- 600 MeV
- 1959 Proton Synchrotron PS 28 GeV
- 1971 Intersecting Storage Rings ISR - zderzacz pp do 63 GeV w środku masy
- 1976 Super Proton Synchrotron SPS- 400 -450 GeV
- Proton Antiproton SPS collider (pSPS anty p) - zderzacz do 540 GeV w środku masy
- 1989 Large Electron-Positron collider (LEP) -od 90 do 205 GeV w środku masy
- 2008 Large Hadron Collider (LHC)— 6, 7, 13 TeV w środku masy,
- 2027 ?— LHC Wysokich Świetłości (HL-LHC)— 5-krotnie wyższa liczba zderzeń,
- Modernizowany system akceleratorów wstępnego przyspieszania i źródeł jonów.
- R+D nad nowymi technikami przyspieszania cząstek (CLIC, AWAKE)

Ośrodek komputerowy jako centrum obliczeń kratowych, m.in:

- W 1989 Tim Berners-Lee zaproponował stworzenie WWW, co dało początek rozwojowi internetu,
- Potrzeby LHC wymagały stworzenia globalnego systemu obliczeń kratowych WLCG (GRID).

Praca w międzynarodowych zespołach naukowych,

Dostęp do i udział w rozwijaniu najnowocześniejszych technologii.

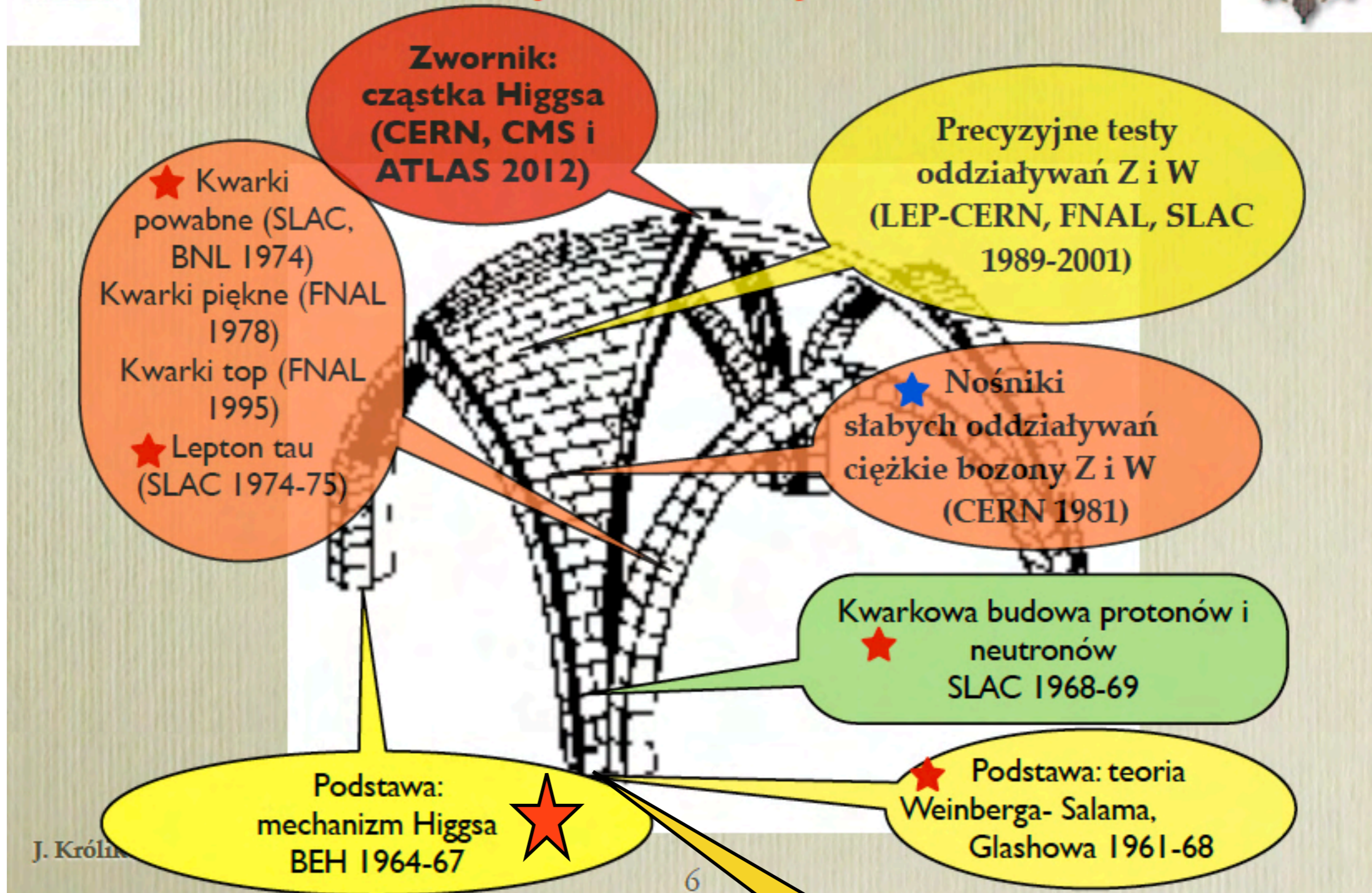
4 ważne odkrycia naukowe
w CERNie;
głównie oddziaływania
elektroslabe

Patrz także

<https://home.cern/about/who-we-are/our-history>



Model Standardowy jest kunsztowną budowlą wznoszoną od > 50 lat

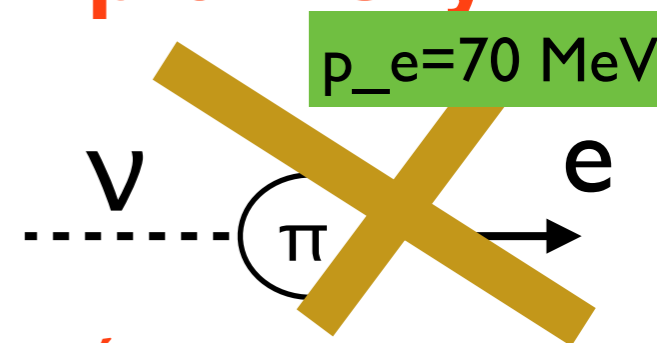
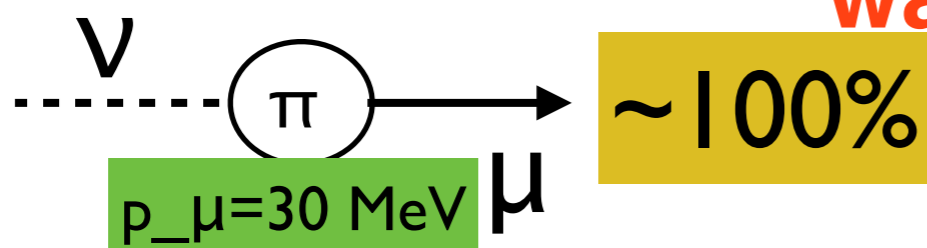


J. Król

6

uniwersalność słabych oddziaływań leptonów CERN 1959

1957-59 Pierwszy akcelerator SC i pierwszy ważny wynik



Uniwersalność słabych oddziaływań w rozpadach mezonów $\pi \rightarrow \mu\nu$ i $\pi \rightarrow e\nu$ (Giuseppe Fidecaro et. al Nouvo Cim 13, 1240 (1959)).

$$R_{\pi} = \left(\frac{m_e}{m_{\mu}} \right)^2 \left(\frac{m_{\pi}^2 - m_e^2}{m_{\pi}^2 - m_{\mu}^2} \right)^2 = 1.283 \times 10^{-4}$$

$$R_{\text{exp}} = (1.22 \pm 0.30) \times 10^{-4}$$

Mezony pi produkowane w zderzeniach protonów z akceleratora SC (600 MeV).

Technika obserwacji: mezony pi zatrzymują się w tarczy z miedzi. Elektrony przechodzą przez absorbent (scyntylator+ grafit) o zmiennej grubości i kiego zatrzymują się w liczniku scyntylicyjnym z NaI. Sygnały z szybkiego oscyloskopu były automatycznie fotografowane i rozróżniano

rozpady $\pi \rightarrow e\nu$ i $\pi \rightarrow \mu\nu$

Obecnie

$$R = (1.230 \pm 0.004) \times 10^{-4}$$



Giuseppe i Maria Fidecaro

Uniwersalność słabych oddziaływań dla leptonów

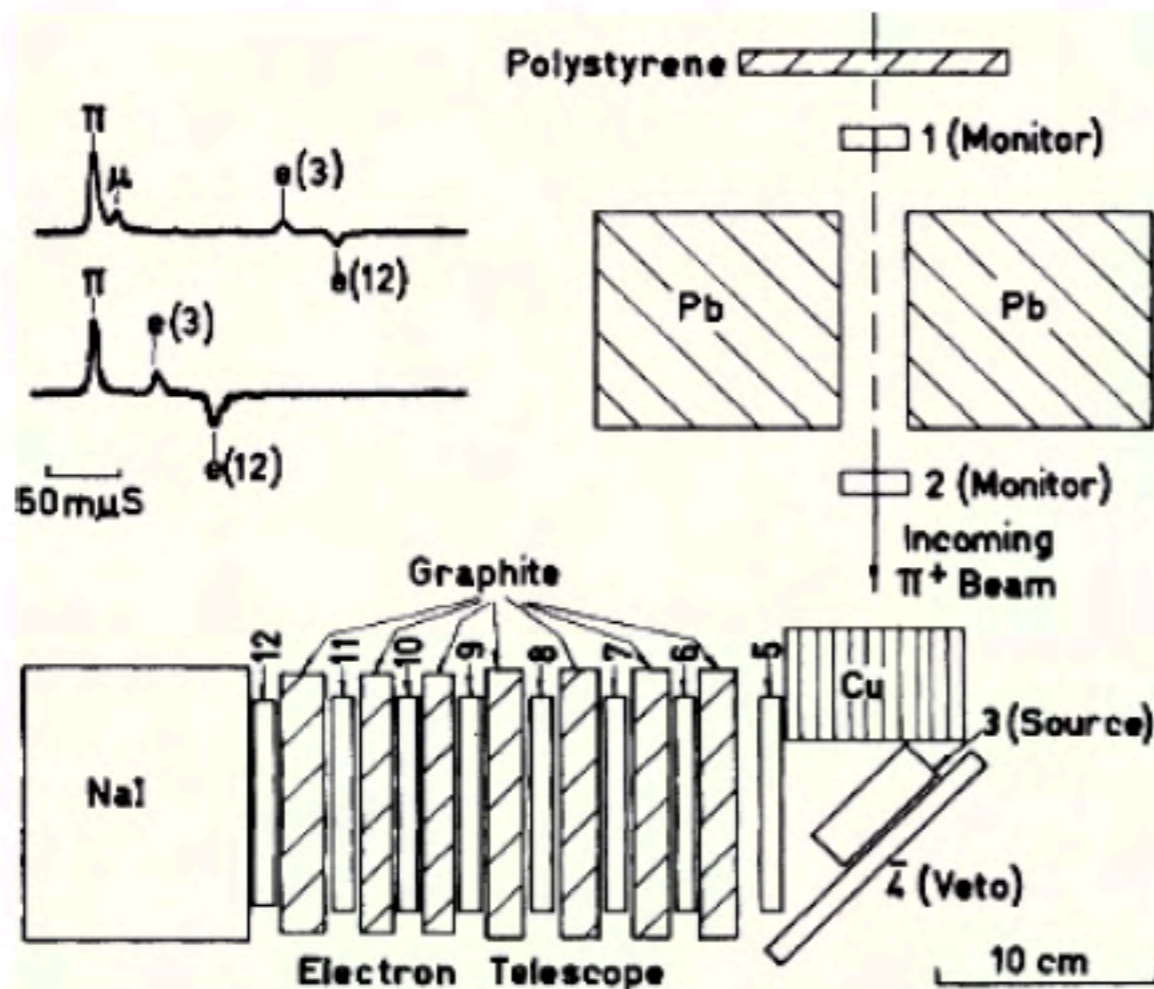


Fig. 3. Layout of the SC experiment²⁹ together with typical $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \rightarrow e^+$ and $\pi^+ \rightarrow e^+$ signals, as recorded on a fast oscilloscope (the time scale unit, “milli-micro-second” ($m\mu s$) is called “nanosecond” (ns) today). Counter 3 is the active target where incident π^+ mesons stop. The NaI counter information was not used in the final analysis.

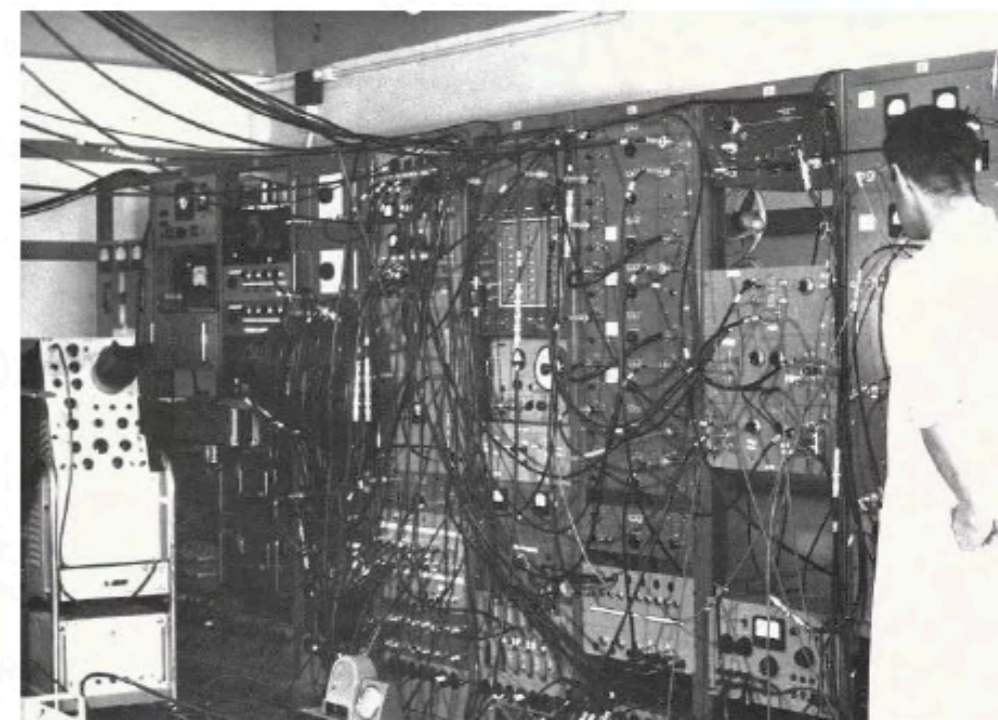
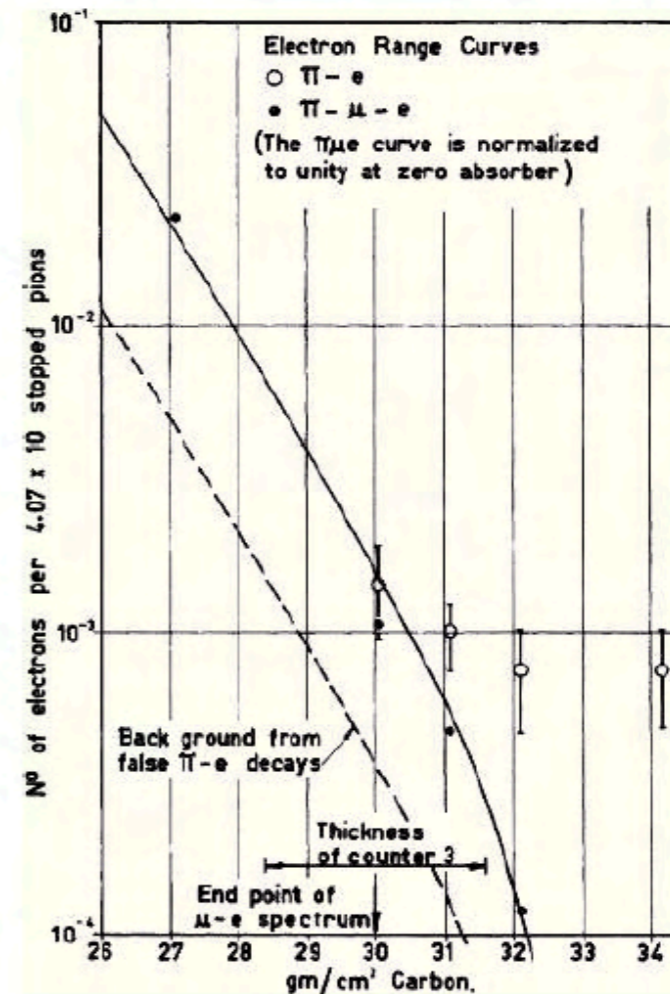
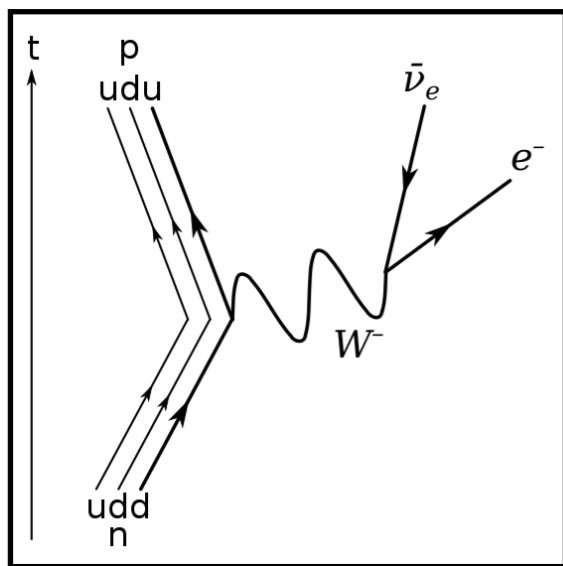
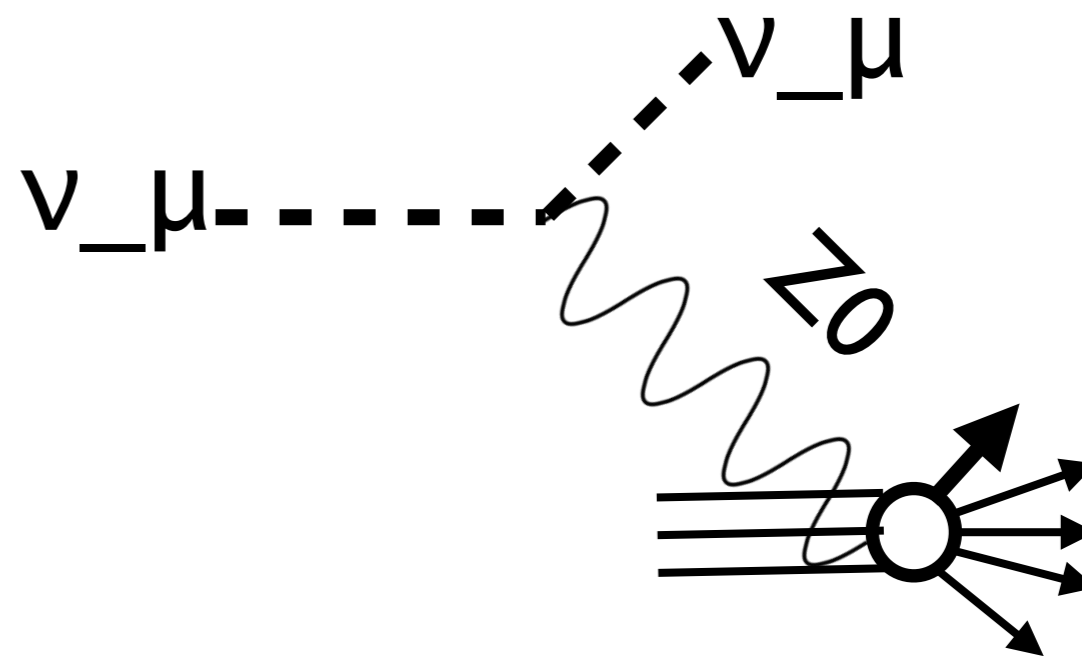
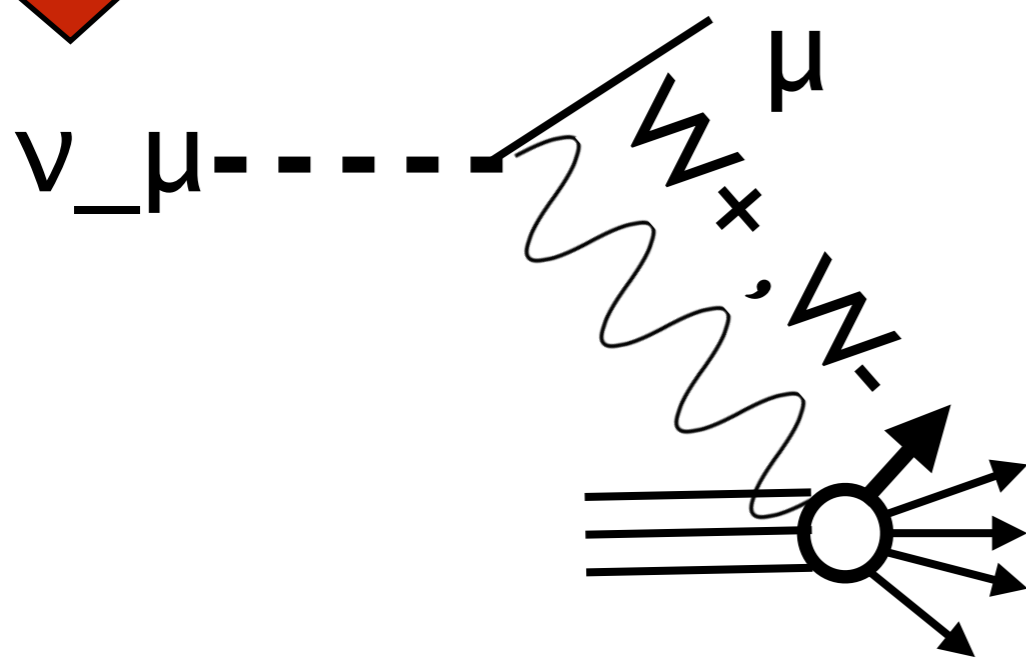


Fig. 6. The main electronic racks in the counting room of the SC exper



To jest diagram Feynmana opisujący rozpad β neutronu. Klasyczna teoria Fermiego z 1934 opisuje ten rozpad. W nowoczesnej kwantowo- polowej wersji za ten rozpad odpowiada wymiana kwantu pola słabego — naładowanego bozonu W (W^+ i W^-)

Teoria Weinberga- Salama- Glashowa (model Standardowy- 1967) z wymagania symetrii wyprowadza istnienie dodatkowego neutralnego bozonu słabego oddziaływania Z^0



1970 odkrycie prądów neutralnych w słabych oddziaływaniach



Komora pęcherzykowa Gargamelle (GGM) i komory iskrowe za nią (detektory mionów)

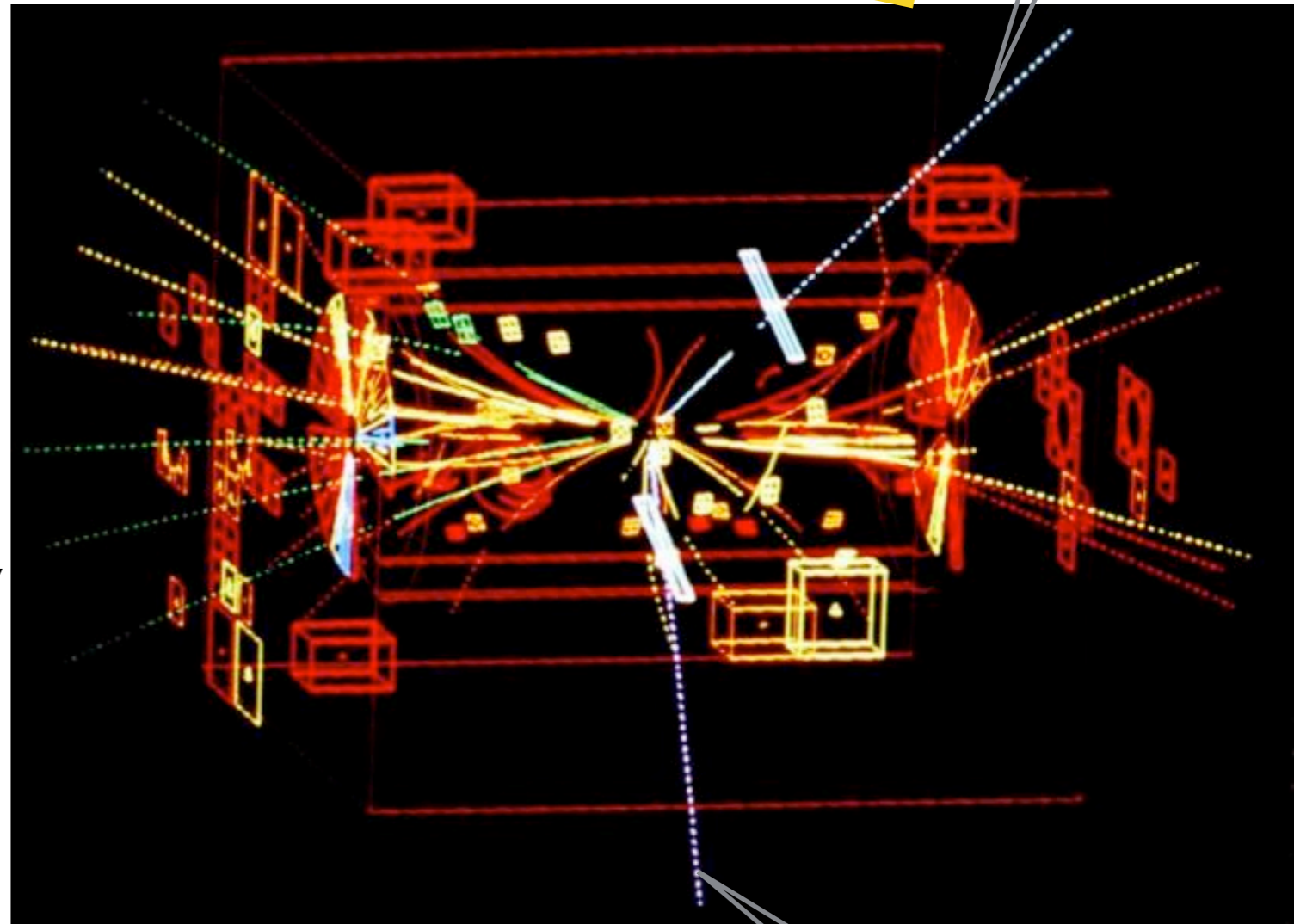
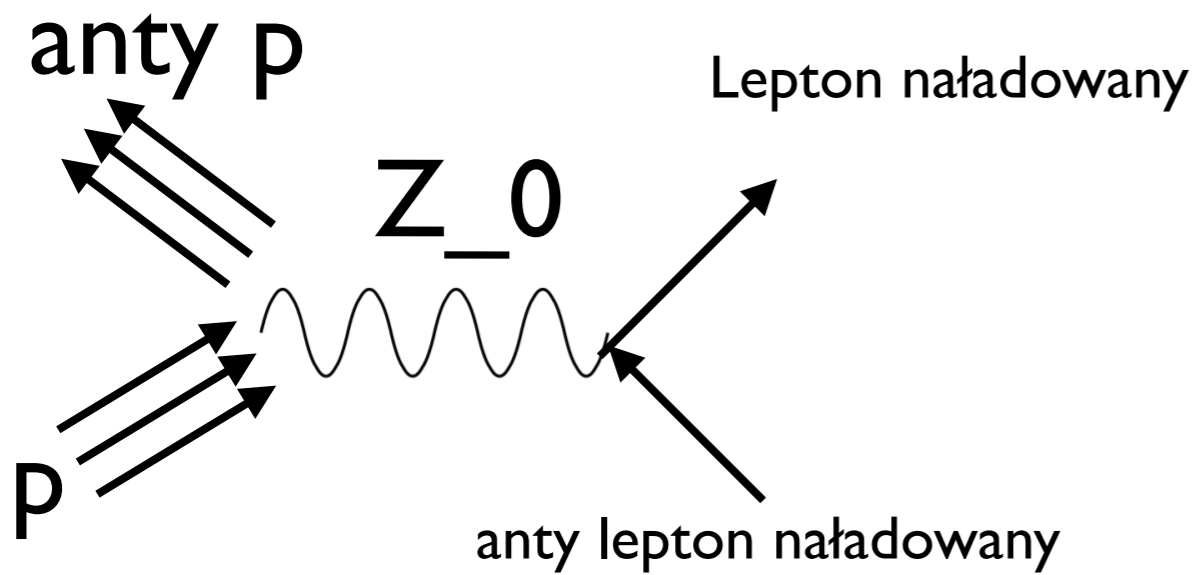
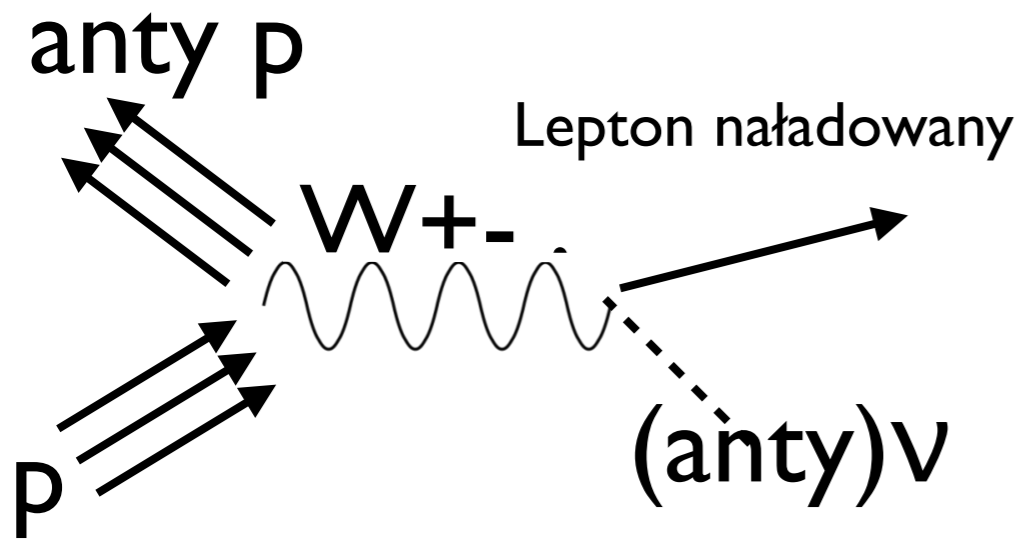


Abdus Salam i Paul Musset (GGM)

Odkrycie oddziaływania wirtualnego kwantu Z_0

1981 Odkrycie bozonów W i Z- eksp. UA1 i UA2

Czasy życia W i Z $\sim 10^{-25}$ s

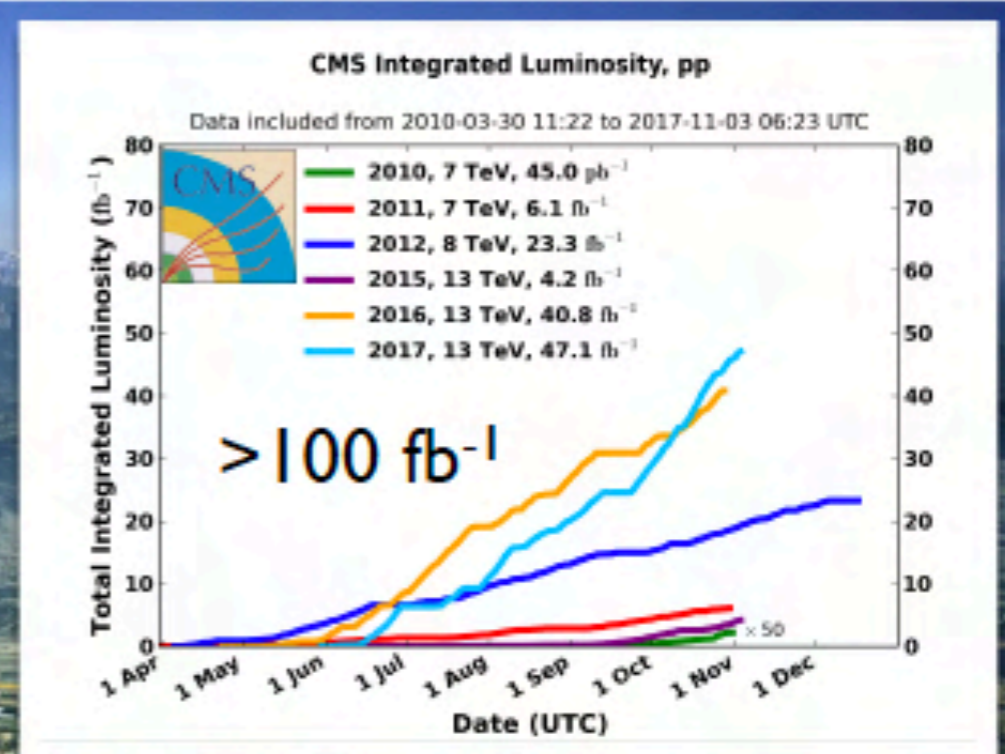


μ

μ

The Large Hadron Collider (LHC)

Two general purpose detectors



Odkrycie bozonu Higgsa – zwińczenie Modelu Standardowego

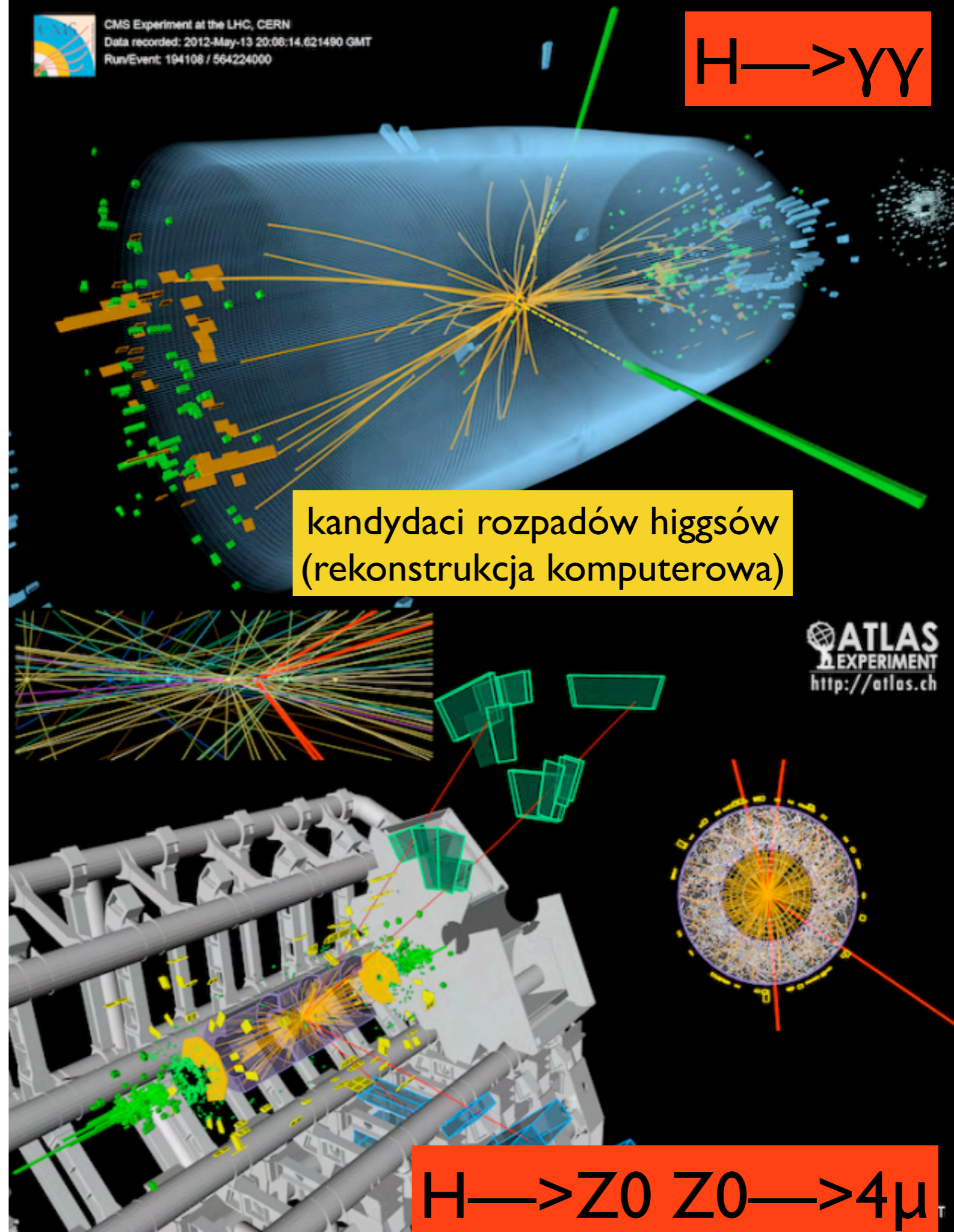
W lipcu 2012 eksperymenty
ATLAS i CMS przy LHC
poinformowały o odkryciu
neutralnej cząstki o masie 125 GeV.

Wkrótce dalsze wyniki
potwierdziły, że jest to bozon
Higgsa – widoczna pozostałość
mechanizmu spontanicznego
łamania symetrii w Modelu
Standardowym, który jest
odpowiedzialny za nadawanie
masy kwarkom, leptonom i
kwantom oddziaływania słabego –
bozonom W i Z.



CMS Experiment at the LHC, CERN
Data recorded: 2012-May-13 20:06:14.621490 GMT
Run/Event: 194108 / 564224000

$$H \rightarrow \gamma\gamma$$



$$H \rightarrow Z0 \quad Z0 \rightarrow 4\mu$$

W pracach nad odkryciem higgosa w LHC uczestniczyły polskie zespoły naukowe wchodzące w skład eksperymentów ATLAS i CMS przy LHC.

Te zespoły naukowe wniosły wkład w przygotowanie programu naukowego, projekty i budowę aparatury naukowej i analizę danych (od ~1989).

Inne polskie zespoły naukowe uczestniczą w eksperymentach ALICE (zderzenia ciężkich jąder w LHC) i LHCb (produkcja i rozpady ciężkich kwarków b i c)

Polacy w CERNie;
od lat 1950 do chwili
obecnej

Pierwsi polscy fizycy pojawili się w CERNie w 1959.

Od 1963 Polska, jako jedyny kraj bloku wschodniego, miała status Kraju – Obserwatora w CERNie.

W 1989 Carlo Rubbia, Dyrektor Generalny CERN zaprosił Polskę na członka. CERN był pierwszą zachodnioeuropejską organizacją, która zaprosiła Polskę na członka.

Trzydzieści lat temu – w 1991 Polska została 16 Krajem Członkowskim CERN – pierwszym krajem z Europy wschodniej.



**W imieniu Rzeczypospolitej Polskiej
PREZYDENT
Rzeczypospolitej Polskiej
podaje do powszechnej wiadomości**

W dniu 1 lipca 1953 r. została sporządzona w Paryżu a następnie poprawiona Konwencja o utworzeniu Europejskiej Organizacji Badań Jądrowych oraz Protokół Finansowy stanowiący jej załącznik.

Po zaznajomieniu się z powyższą Konwencją oraz Protokołem Finansowym, w imieniu Rzeczypospolitej Polski oświadczam, że:

- zostały one uznane za słuszne zarówno w całości jak i każde z postanowień w nich zawartych,**
- Rzeczpospolita Polska postanowiła przystąpić do powyższej Konwencji i Protokołu Finansowego,**
- Będą one niezmiennie zachowywane.**

Na dowód czego wydany został Akt niniejszy opatrzony pieczęcią Rzeczypospolitej Polskiej.

Dano w Warszawie, dnia 13 maja 1991 roku

**PREZYDENT
RZECZYPOSPOLITEJ POLSKIEJ
LECH Wałęsa**

Kilka danych liczbowych:

- Z CERNem jest związanych ok. **550 Polaków**: 80 osób jest zatrudnionych przez CERN, 170 to studenci, doktoranci i stypendyści, zaś ok. 300 to użytkownicy CERN zatrudnieni w polskich instytucjach,
- Badania w CERNie prowadzi ok. **10 polskich instytucji naukowych**, w mniejszym zakresie współpracuje jeszcze kilka podmiotów,
- Polskie **doświadczalne grupy badawcze** uczestniczą w 4 eksperymentach przy LHC oraz w wielu mniejszych przedsięwzięciach naukowych prowadzonych CERN (m.in. SPS, ISOLDE),
- Ważny wkład w programy naukowe prowadzone w CERNie wnoszą polscy **fizycy – teoretycy** wspomagając grupy doświadczalne zaawansowanymi obliczeniami i rozwijając nowe modele teoretyczne,
- Do CERNu wyjeżdżały w przeszłości liczne **grupy polskich nauczycieli fizyki**,
- **Polscy uczniowie** corocznie uczestniczą zdalnie w międzynarodowych warsztatach organizowanych przez CERN,
- **Polskie firmy** zrealizowały w CERNie dostawy towarów i usług, których wartość w czasie 30 lat przekroczyła **500 MPLN**

Więcej informacji na <https://pl30cern.ifj.edu.pl/>

Przyszłe plany
światowej i
Europejskiej fizyki
cząstek

Następny projekt akceleratora w CERNie

Następny projekt będzie GLOBALNY.

W CERNie lub w innym laboratorium?

Będzie to wymagało zmiany organizacji CERN ?

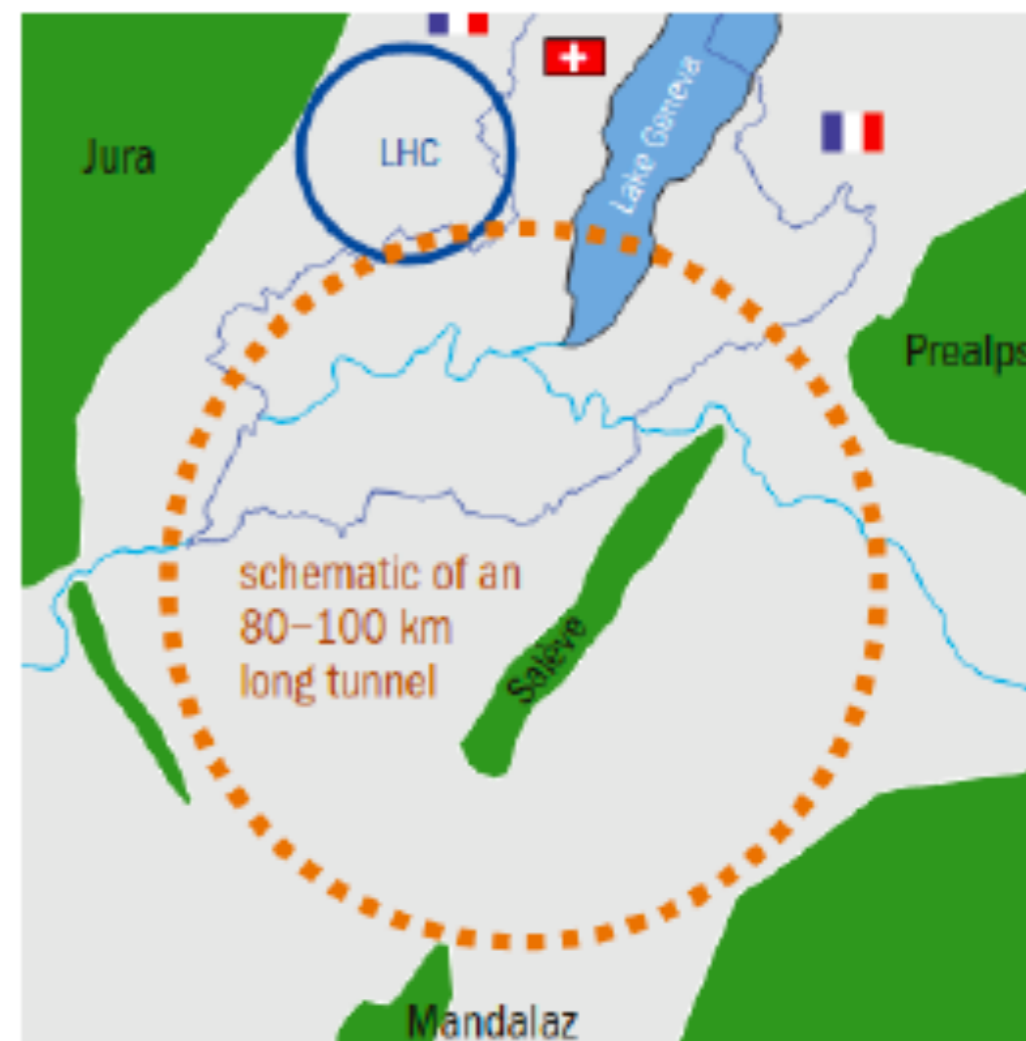
Wyzwanie technologiczne— nowe magnesy SC o znacznie silniejszych polach (może nadprzewodniki wysokotemperaturowe).

Future Circular Collider (FCC):

zderzacz elektron-pozyton— fabryka

higgsów o energii 90–380 GeV,

następnie zderzacz pp o energii ~ 100 TeV



Polskie ośrodki naukowe uczestniczą w pracach nad programem FCC

Slajdy zapasowe

“has too many arbitrary features for [its] predictions to be taken very seriously”
S. Weinberg '67

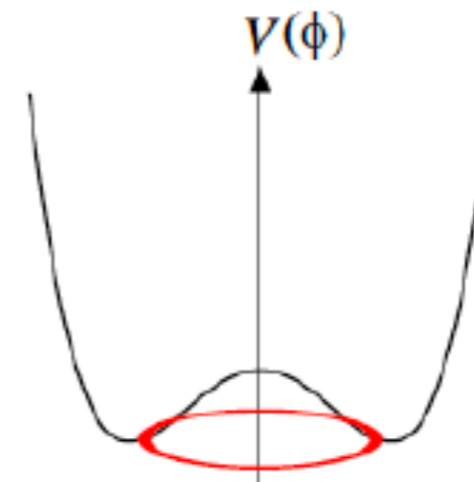


Model Standardowy kwantowa teoria pola z cechowaniem oparta o $SU(3) \times SU(2) \times U(1)_Y$

$(1, 2)_{-\frac{1}{2}}$	$(3, 2)_{-\frac{1}{6}}$	$(1, 1)_{-1}$	$(3, 1)_{-\frac{2}{3}}$	$(3, 1)_{-\frac{1}{3}}$	
$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} u^d \\ d^d \end{pmatrix}_L$	e_R	u^d_R	d^d_R	Family
$\begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} c^d \\ s^d \end{pmatrix}_L$	μ_R	c^d_R	s^d_R	
$\begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau \end{pmatrix}_L$	$\begin{pmatrix} t^d \\ b^d \end{pmatrix}_L$	τ_R	t^d_R	b^d_R	

Parity Violation

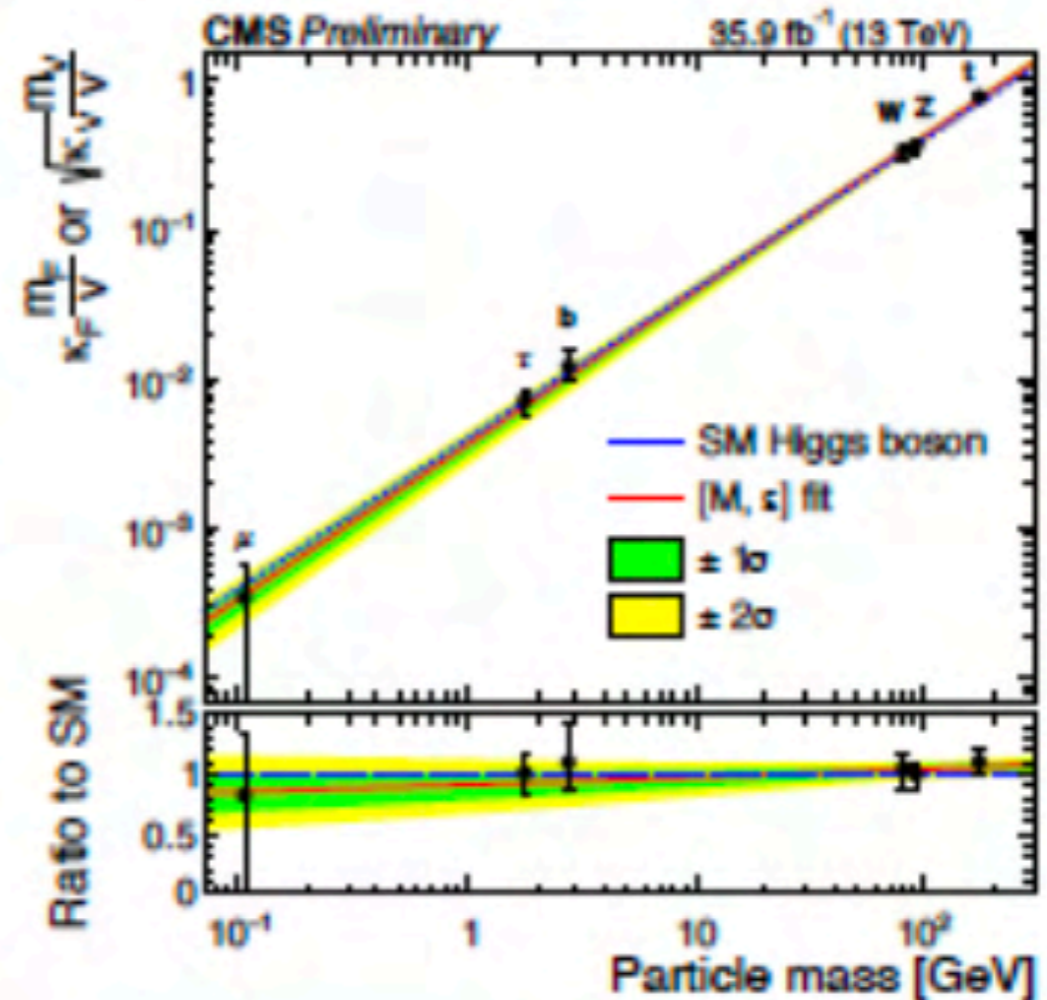
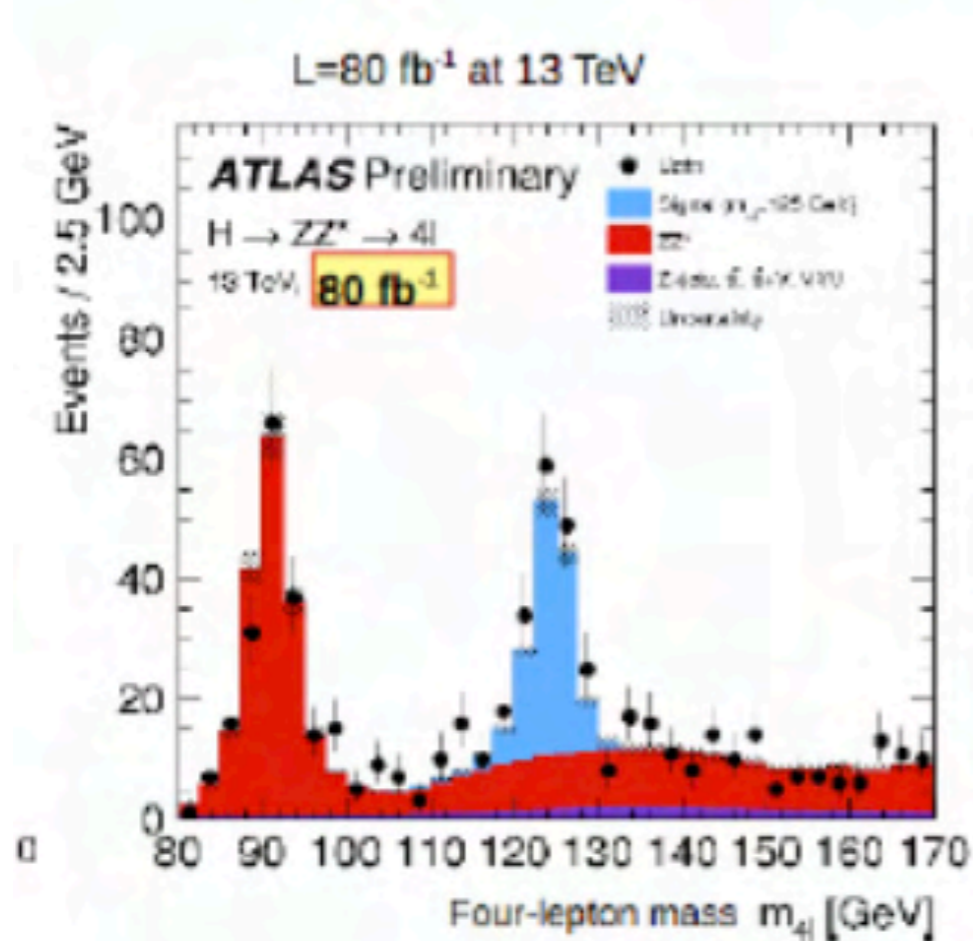
(Toy model) SSB



Istotnym elementem SM jest mechanizm spontanicznego łamania symetrii cechowania (SSB) poprzez wprowadzenie mechanizmu Higgsa

$$V(\phi) = -\mu^2 \phi^\dagger \phi + \lambda (\phi^\dagger \phi)^2$$

Model Standardowy — cząstka Higgsa jest standardową cz. H (?)



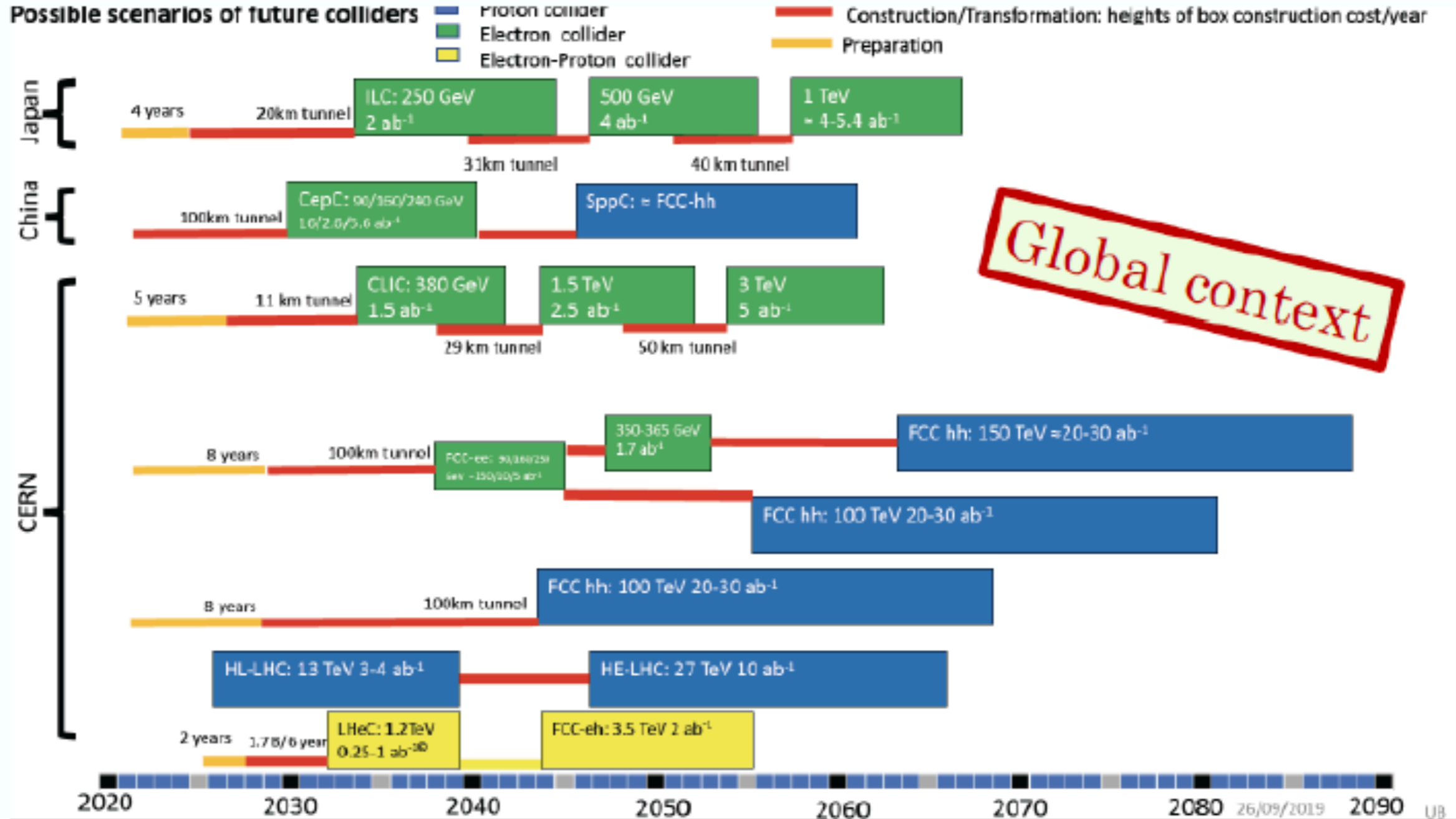
Precyzja $\sim 0.1\%$

$$m_H = (125.09 \pm 0.24) \text{ GeV}$$

$$J^P = 0^+$$

$$\Gamma_H = ?$$

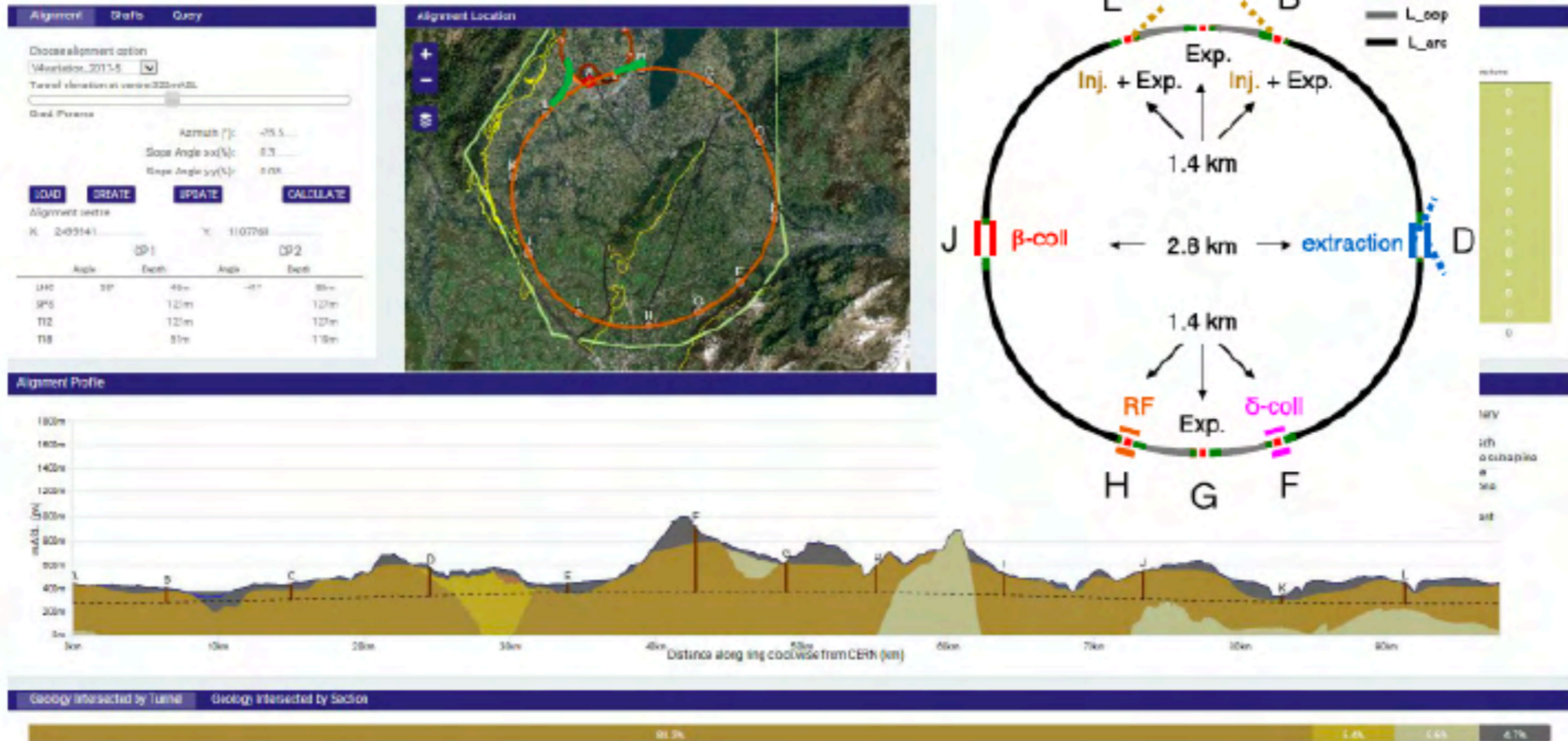
harmonography (U.Bassler 2019)



FCC tunnel Fabiola Gianotti Dec.2020



Nominal FCC in its baseline location



4

- ❑ Total circumference: 97.75 km
- ❑ Most of tunnel through Molasse
- ❑ 14 km straight sections (experiments, injection, extraction, collimation) → ~ 84 km arcs (bending)
- ❑ FCC ring tangential to LHC ring to minimize transfer lines from LHC
- ❑ Injection into straight sections left and right of Point A

An extremely rich program

Precision measurements

- mass, width
- spin, CP, couplings
- off-shell coupling, width interferometry
- differential distributions

Tool for discovery

- portal to BSM
- portal to hidden sector
- portal to DM



Rare / beyond SM decays

- $H \rightarrow Z\gamma$
- $H \rightarrow \mu\mu$
- $H \rightarrow cc$
- $H \rightarrow \tau\mu, \tau e, e\mu$
- $H \rightarrow J/\Psi\gamma, \Upsilon\gamma, \dots$

... and much more

- Higgs potential
- di-Higgs
- other FCNC decays
- ...

SM minimal or not?

- 2HDM
- MSSM, NMSSM
- extra Higgs states, doubly-charged Higgs