

Wielki Zderzacz odkrywa sekrety materii

*(nie róbcie tego w domu,
zobaczcie w CERNie)*

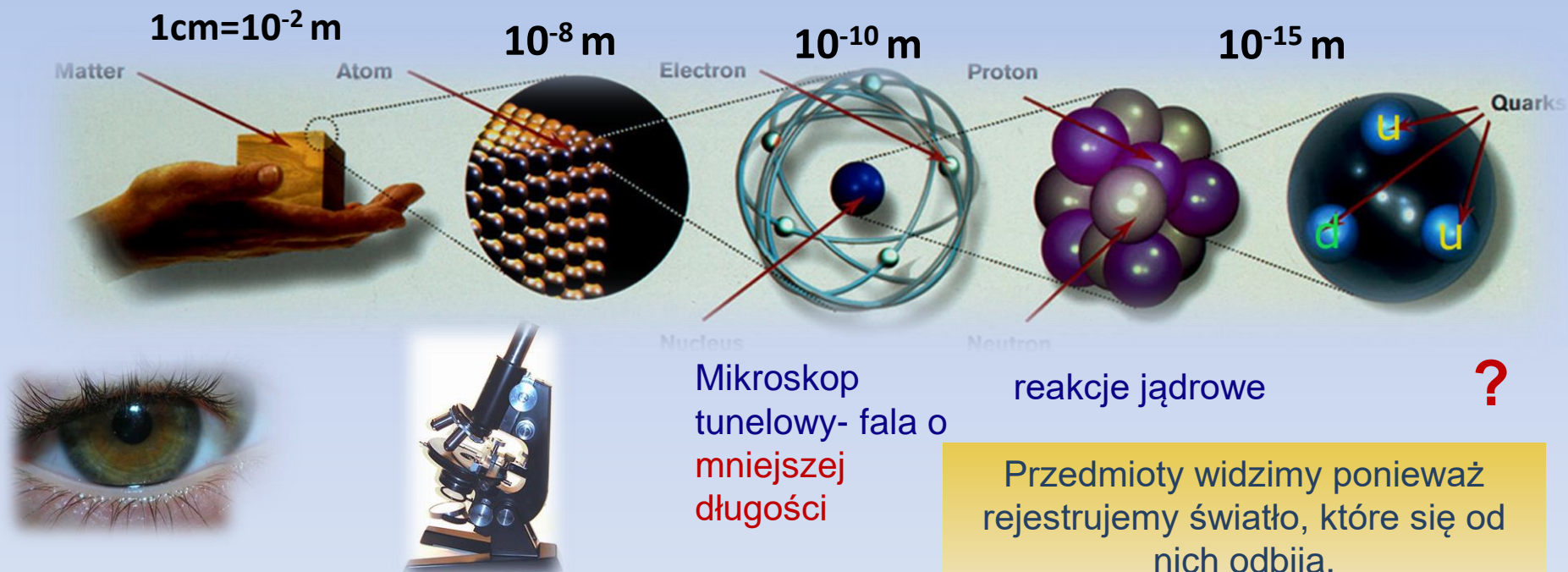
Agnieszka Obłąkowska-Mucha

AGH, Wydział Fizyki i Informatyki Stosowanej,
Katedra Oddziaływań i Detekcji Cząstek

Przyrządy optyczne

Materia

składa się atomów, atom budują elektrony i jądro, w jądrze są protony i neutrony, które składają się z **KWARKÓW**.
tylko... jak to można zobaczyć?



oko i mikroskop
– światło widzialne o długości $10^{-6} - 10^{-8}\text{ m}$.

Mikroskop
tunelowy- fala o
mniejszej
długości

reakcje jądrowe

?

Przedmioty widzimy ponieważ rejestrujemy światło, które się od nich odbija.

Ale jest to możliwe tylko wtedy, gdy rozmiar przedmiotu jest podobny do długości fali światła

Rozbić to w drzazgi!

Dobry sposób sprawdzenia, z czego zbudowany jest przedmiot, polega na...
... rozbiciu go na drobne kawałki!



???



Tylko czasem trudno odtworzyć pierwotny kształt!

W dodatku chcielibyśmy również wiedzieć, jak urządzenie działało....

Konieczne zatem jest **rozpędzanie materii** do jak największych prędkości.

W FWE mówimy raczej o **najwyższych energiach**, bo w naszej skali wszystkie cząstki poruszają się z **0.99999999 c**.

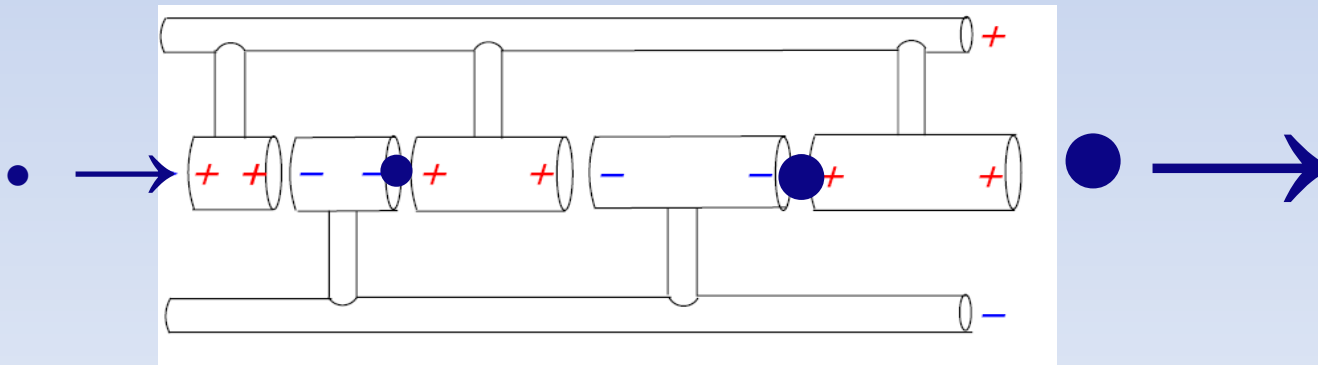
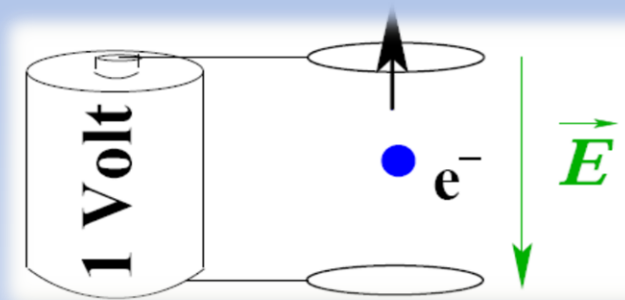
Akceleratory

Przekonałiśmy się już, że do wyjaśnienia z czego składa się materia nieodzowne jest przyspieszanie cząstek.

Do przyspieszania nadają się obiekty **naładowane** elektrycznie, czyli **elektry, protony, jony** lub miony (na fotony i neutrony również są metody, ale tu o nich nie będzie).

Metoda jest prosta: np. elektron przechodząc od ujemnego bieguna baterii, do dodatniego, ulega przyspieszeniu o wartość energii $= eU$.

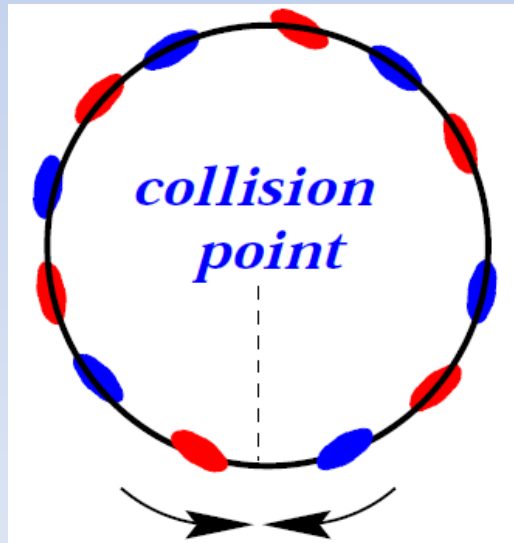
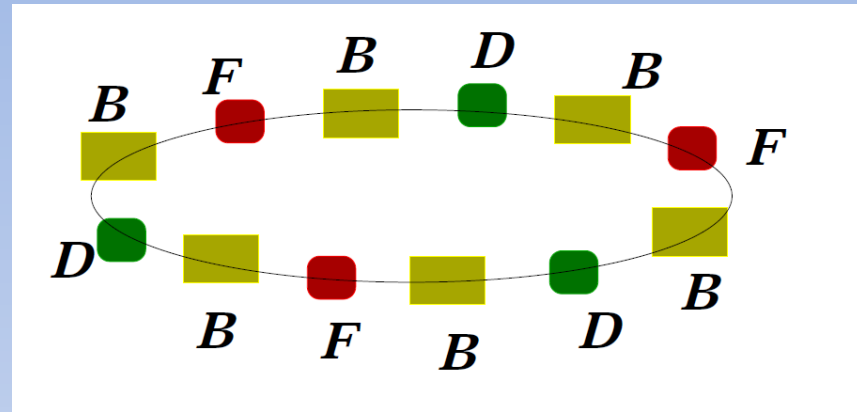
Jak ustawimy takich baterii kilka (lub kilkaset), dodamy mu energii o znacznej wartości.



Przechodząc przez akceleratory elektron zwiększa prędkość, ale również... masę

Akceleratory kołowe

Znacznie oszczędniej będzie, jeśli zamiast budowania kolejnych stacji „baterii” zmusimy cząstkę, aby zawróciła i przeszła ponownie przez te same elementy przyspieszające (D). Do zakrzywienia toru naładowanej elektrycznie cząstki służą magnesy (B). Zbudowaliśmy w ten sposób **akceleratory kołowe**.



A jeszcze lepiej, gdy wykorzystamy te same elementy do przyspieszania jednocześnie **cząstek i antycząstek** (elektronów i pozytonów, protonów i antyprotonów).

Model Standardowy

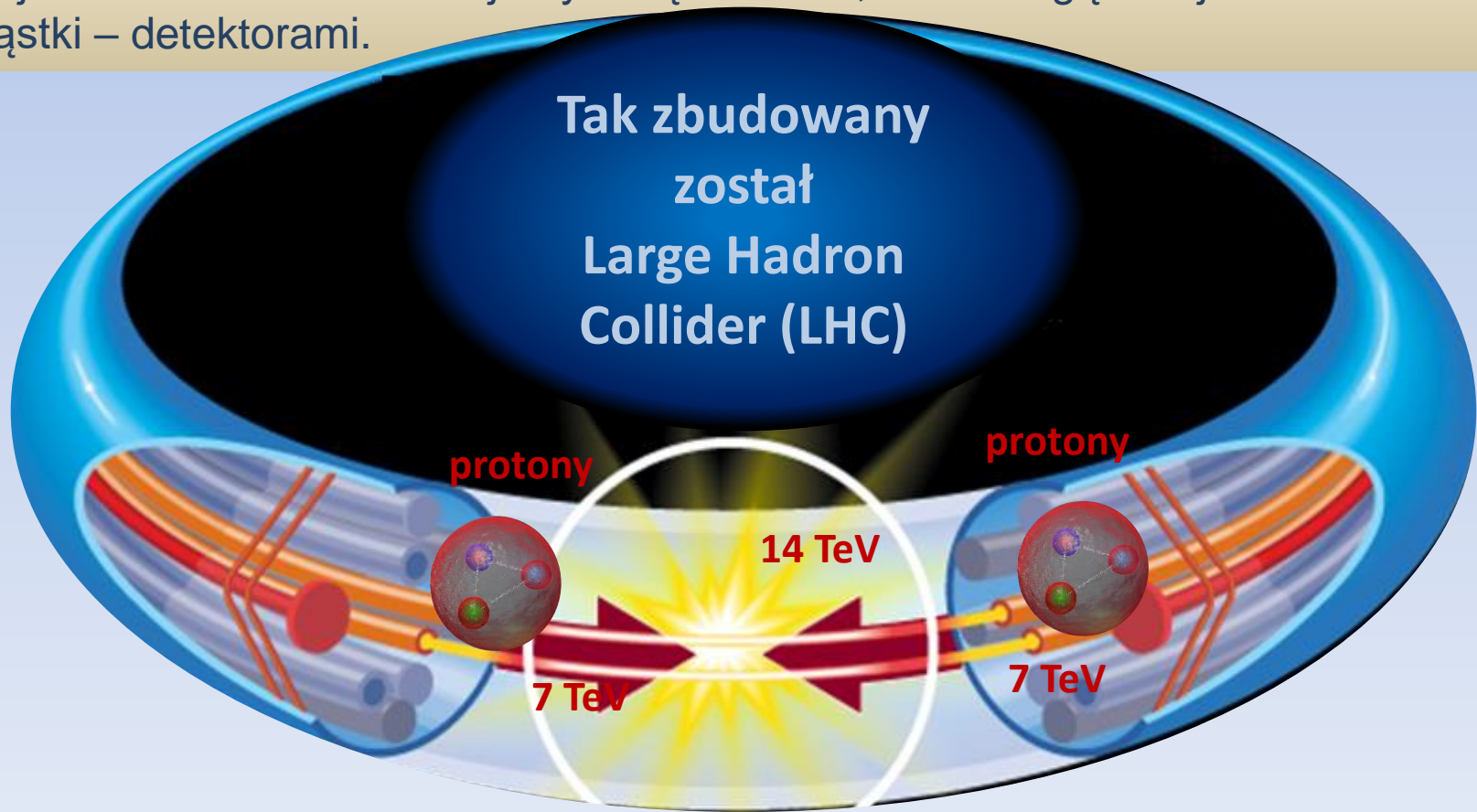
Zawiera naszą wiedzę budowaną od lat 30-tych o „cegiełkach” materii i łączących ich spoiwach.

Przez dwa sezony zbierania danych, fizycy z LHC potwierdzili postulaty MS, wyznaczyli jego parametry z **wyższą precyzją** i nałożyli **nowe ograniczenia**.

FERMIONS			matter constituents spin = 1/2, 3/2, 5/2, ...			
Leptons spin = 1/2			Quarks spin = 1/2			
Flavor	Mass GeV/c ²	Electric charge	Flavor	Approx. Mass GeV/c ²	Electric charge	
ν_L lightest neutrino*	$(0-0.13)\times 10^{-9}$	0	u up	0.002	2/3	Najlżejsze lepton (elektron, neutrino) i kwarki u, d tworzą ziemską materię
e electron	0.000511	-1	d down	0.005	-1/3	
ν_M middle neutrino*	$(0.009-0.13)\times 10^{-9}$	0	c charm	1.3	2/3	Trochę cięższe lepton (mion) i kwarki s przylatują z kosmosu
μ muon	0.106	-1	s strange	0.1	-1/3	
ν_H heaviest neutrino*	$(0.04-0.14)\times 10^{-9}$	0	t top	173	2/3	Najcięższe lepton (tau) i kwarki c,b, t, powstały podczas Wielkiego Wybuchu (i się rozpadły)
τ tau	1.777	-1	b bottom	4.2	-1/3	

Plan doświadczenia

1. Budujemy akcelerator.
2. Przyspieszamy cząstki (elektrony lub protony)
3. Zderzamy je.
4. W zderzeniu powstaną nowe, ciężkie, krótko żyjące obiekty.
5. Miejsce zderzenia obudowujemy urządzeniami, które mogą zarejestrować obecność cząstki – detektorami.



Fizyka akceleratorów

Jak zmusić protony do poruszania się po okręgu?

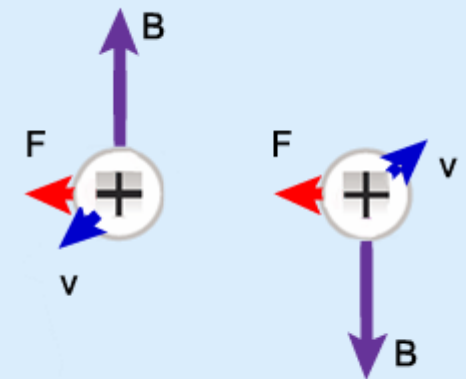
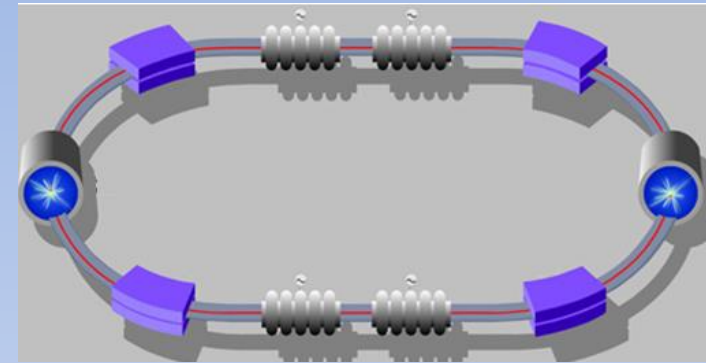
wykorzystać pole magnetyczne - na protony działa siła Lorentza:

$$\vec{F}_L = q\vec{v} \times \vec{B}$$

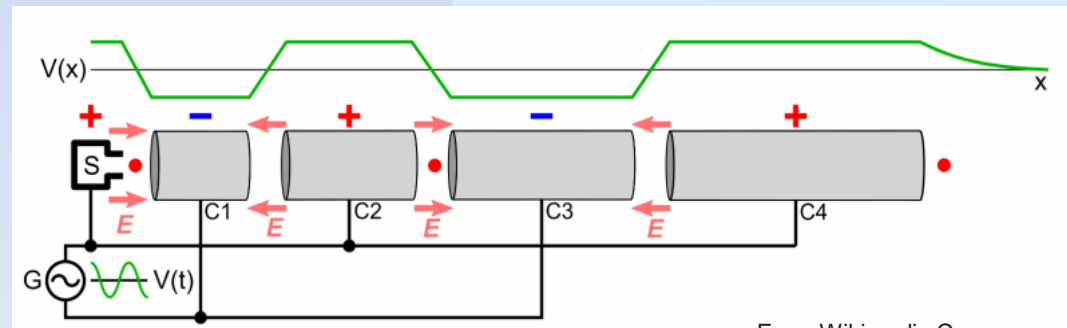
Jak przyspieszyć protony?

włączyć pole elektryczne:

$$\vec{F}_e = q\vec{E}$$



<https://www.lhc-closer.es>



From Wikimedia Commons

Fizyka akceleratorów

Jak zmusić protony do poruszania się po okręgu?

wykorzystać pole magnetyczne - na protony działa siła Lorentza:

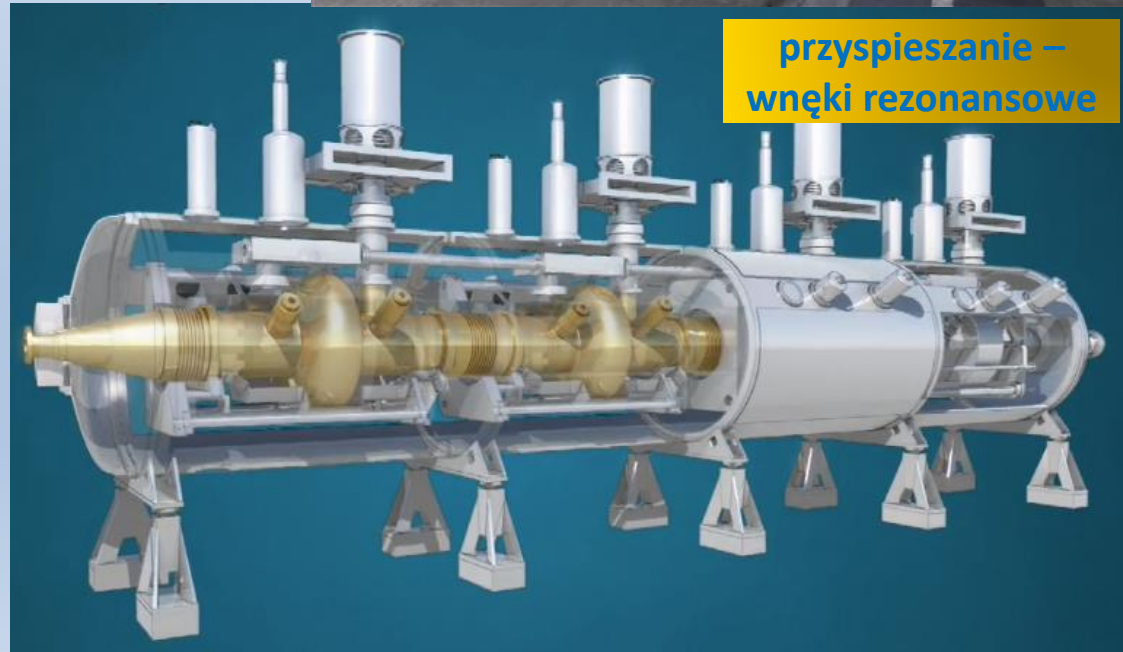
$$\vec{F}_L = q\vec{v} \times \vec{B}$$



Jak przyspieszyć protony?

włączyć pole elektryczne:

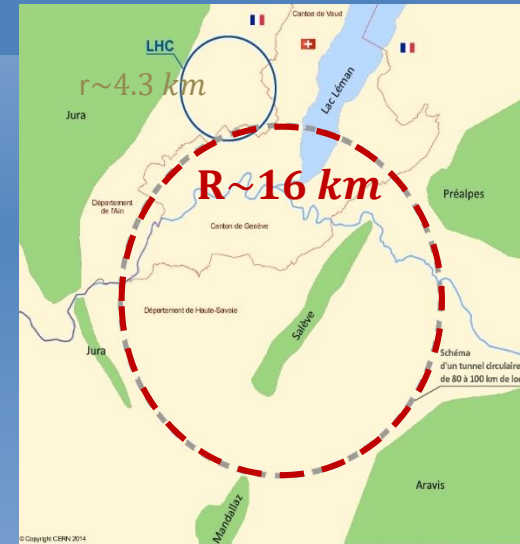
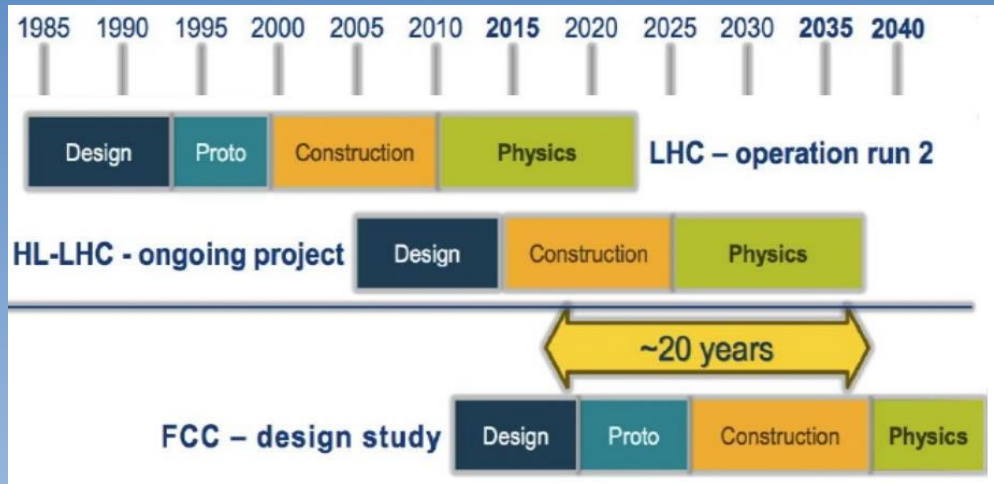
$$\vec{F}_e = q\vec{E}$$



Future Circular Collider (FCC): koniec XXI wieku

W roku 2019 zatwierdzony został plan konstrukcji nowego akceleratora o długości 100 km o nazwie **Future Circular Collider (FCC)**.

Budowa planowana jest na lata 2028-2038.



W pierwszym okresie (2038-2053) przyspieszane i zderzane mają być elektrony.

W drugim: protony (2063-2090).

Oczekuje się, że wiązkę protonów o energii **100 T** utrzyma na orbicie o promieniu 16 km pole magnetyczne o indukcji **16 T**.

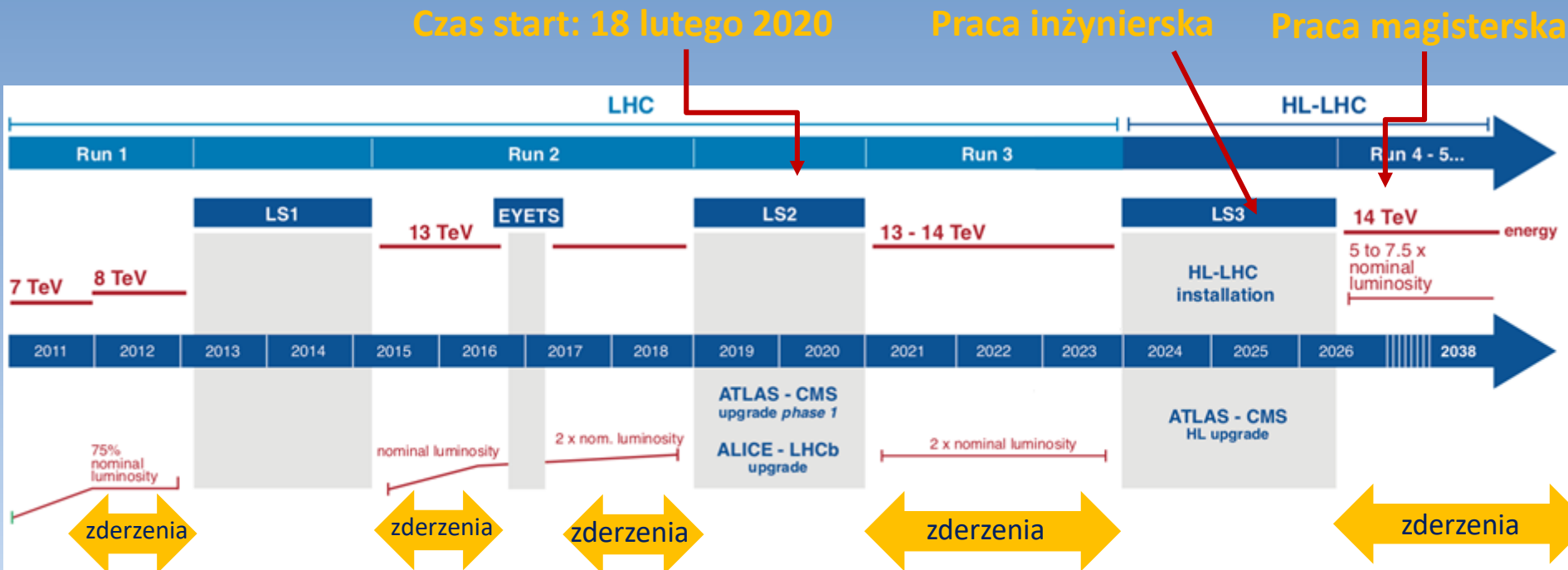


LHC: never ending story

W LHC co 25 ns zderzane są wiązki (ok. 10^{11}) protonów.

Jednak czekanie na bardzo rzadkie procesy (jak powstanie cząstki Higgsa) jest zbyt długie i planowane jest zwiększenie efektywności zderzeń.

Najważniejsza modernizacja LHC (2023-2026) polegać będzie na projekcie nowego systemu prowadzenia i zderzania protonów, co zwiększy liczbę zderzeń o 5-7 razy.



Detektory

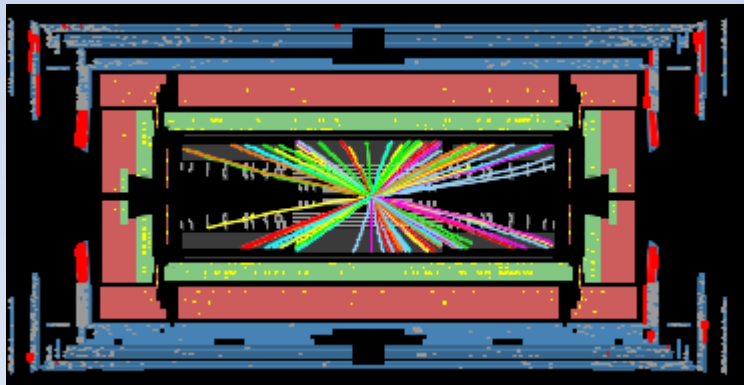
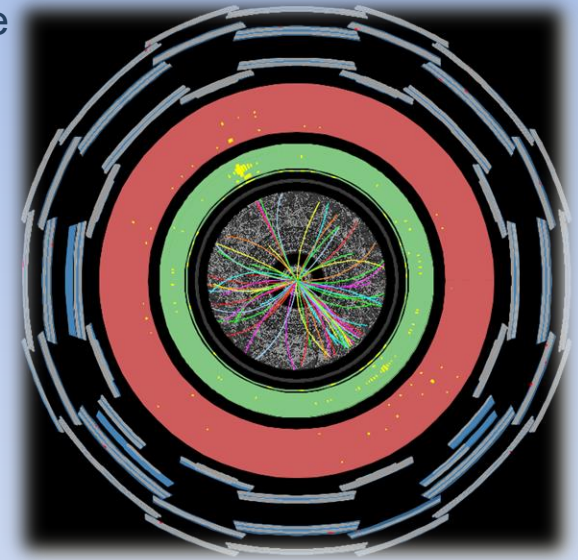
Następnym zadaniem jest **rejestracja** powstałych w zderzeniu cząstek.

W wyniku zderzeń wysokoenergetycznych protonów powstaje **kilka tysięcy cząstek wtórnych** – naładowanych (pionów, kaonów, protonów, elektronów, mionów) oraz neutralnych (fotonów, neutronów, neutrin).

Ich detekcja jest możliwa dzięki **rejestracji depozytów energii** straconej przy przejściu cząstek przez materiał czynny **detektora**.

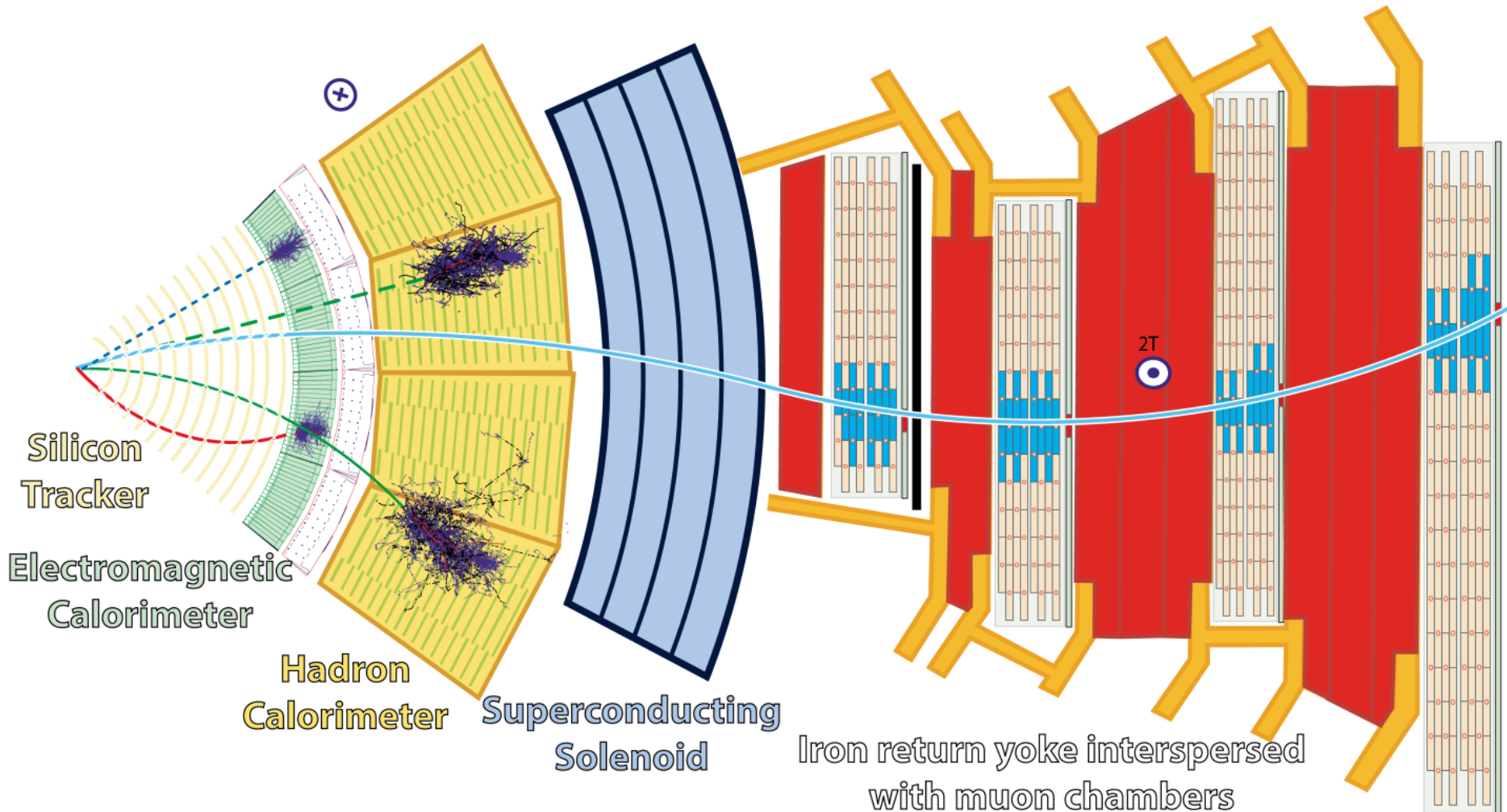
Energia ta jest następnie zamieniana na **sygnały elektryczne** przetwarzane dalej przez oprogramowanie.

Najciekawsze przypadki są **zapisywane** do dalszej obróbki.



Fizycy zajmują się **opracowaniem kryteriów wyboru przypadków**, które zostały przewidziane przez nową teorię lub które podważają obecnie istniejące poglądy.

Detektory



— Muon

— Electron

— Charged hadron (e.g. pion)

- - - Neutral hadron (e.g. neutron)

- - - Photon

Odkrycia na LHC

Przypomnijmy jakie mieliśmy zadania:

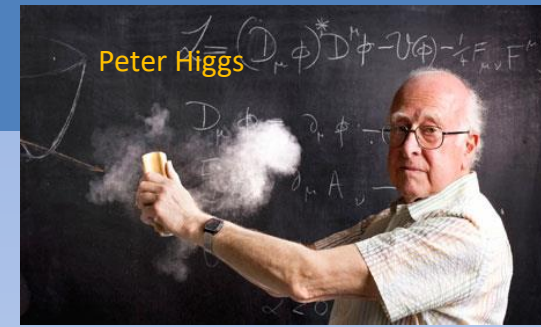
1. Zbadać najmniejsze składniki materii (Model Standardowy).
2. Odkryć brakujące cząstki (z MS).
3. Poszukać śladów Nowej Fizyki (zaprzeczającej MS).
4. Wyjaśnić pochodzenie Wszechświata (w ramach lub poza MS).

Sukces jest połowiczny - obecnie doświadczenia potwierdzają postulaty MS:

znamy najmniejsze składniki i potrafimy wyjaśnić dlaczego tworzą one materię.

BRAK jest jakichkolwiek dowodów potwierdzających istnienie **Fizyki Poza Modelem Standardowym (BSM)**.

Bozon Higgsa



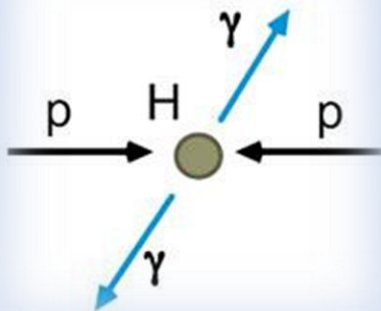
Jego istnienie zostało przewidziane przez teorię **oddziaływań elektroslabych**.

Poszukiwania trwały od lat 80-tych, a program fizyczny LHC został dostosowany na potrzeby tego odkrycia.

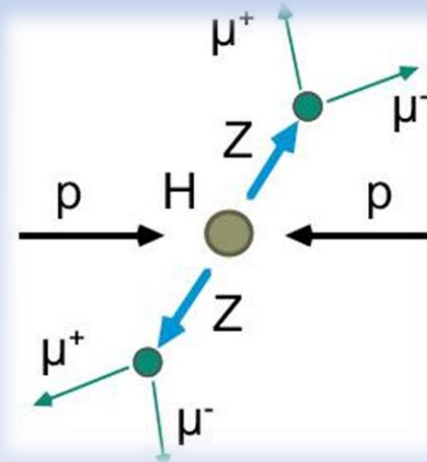
Bozon Higgsa może rozpaść się na kilkanaście sposobów, w zależności od swojej masy (której nie znamy).

Poszukiwaliśmy go zatem w rozpadach, które można łatwo zidentyfikować:

$H \rightarrow \gamma\gamma$ (dwa fotony)



$H \rightarrow 4 \text{ leptony}$
(elektrony, miony)

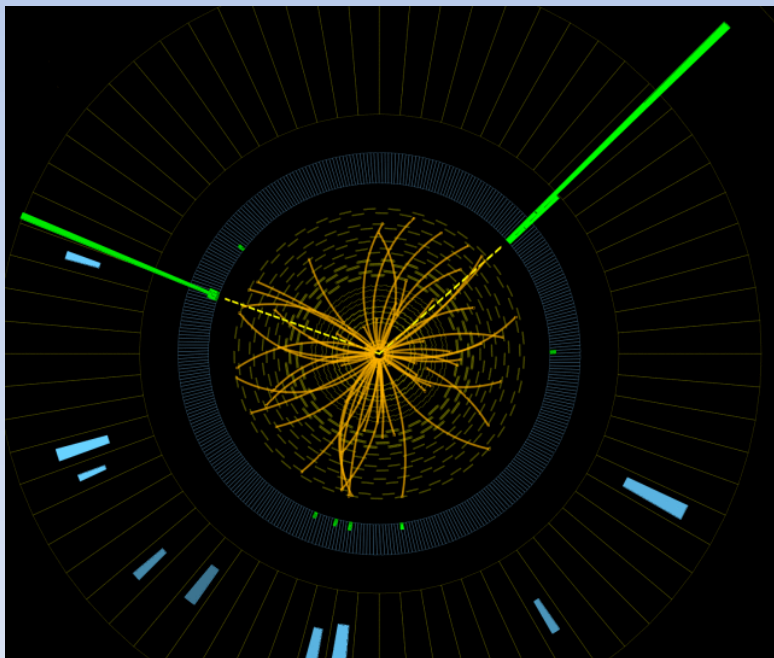


Rozpady bozonu Higgsa

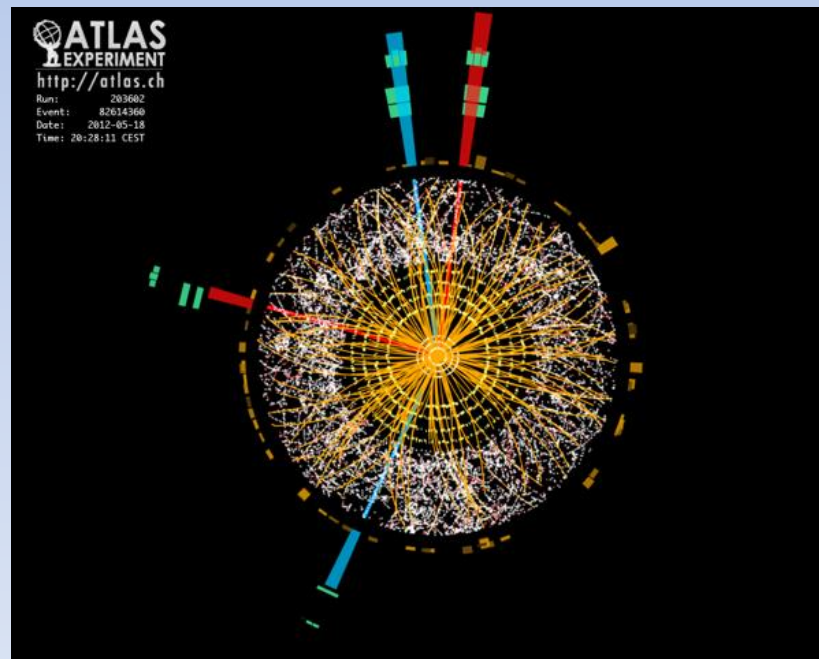
Bozon Higgsa może rozpaść się na kilkanaście sposobów, w zależności od swojej masy (której nie znamy).

Poszukiwaliśmy go zatem w rozpadach, które można łatwo zidentyfikować:

$H \rightarrow \gamma\gamma$ (dwa fotony)



$H \rightarrow 4 \text{ leptony}$
(elektrony, miony)

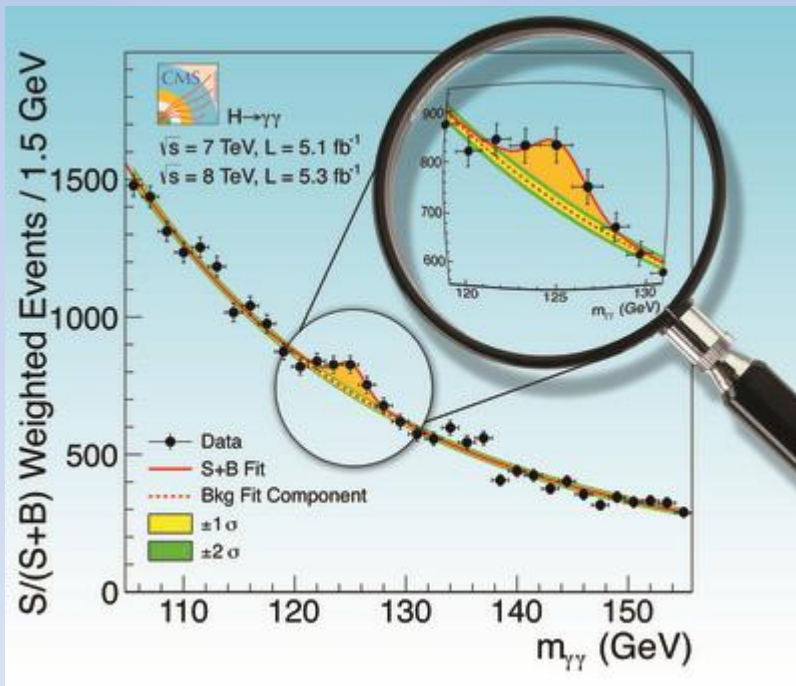


Rozpady bozonu Higgsa

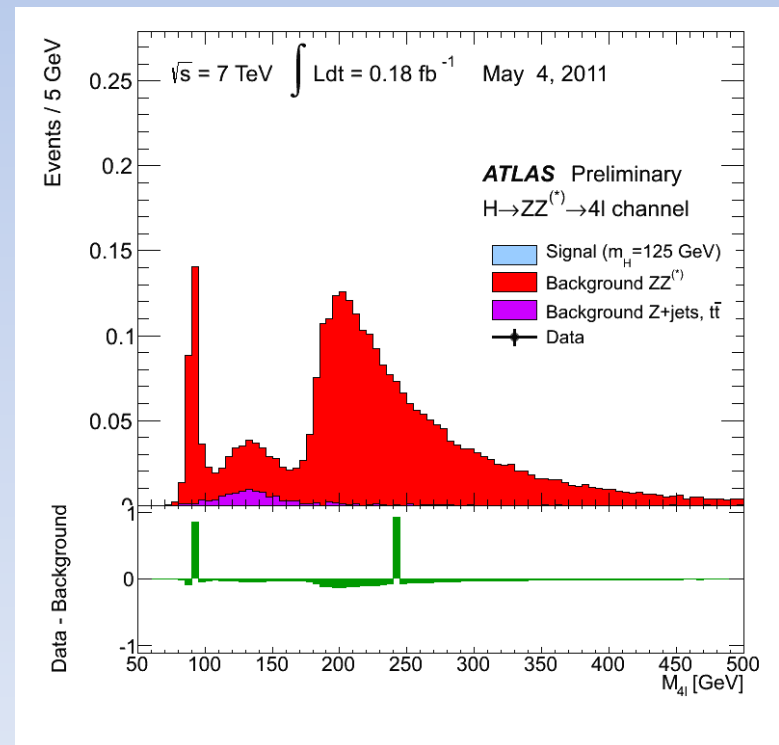
Bozon Higgsa może rozpaść się na kilkanaście sposobów, w zależności od swojej masy (której nie znamy).

Poszukiwaliśmy go zatem w rozpadach, które można łatwo zidentyfikować:

$$H \rightarrow \gamma\gamma$$



$$H \rightarrow 4 \text{ leptony} \\ (\text{elektrony, miony})$$



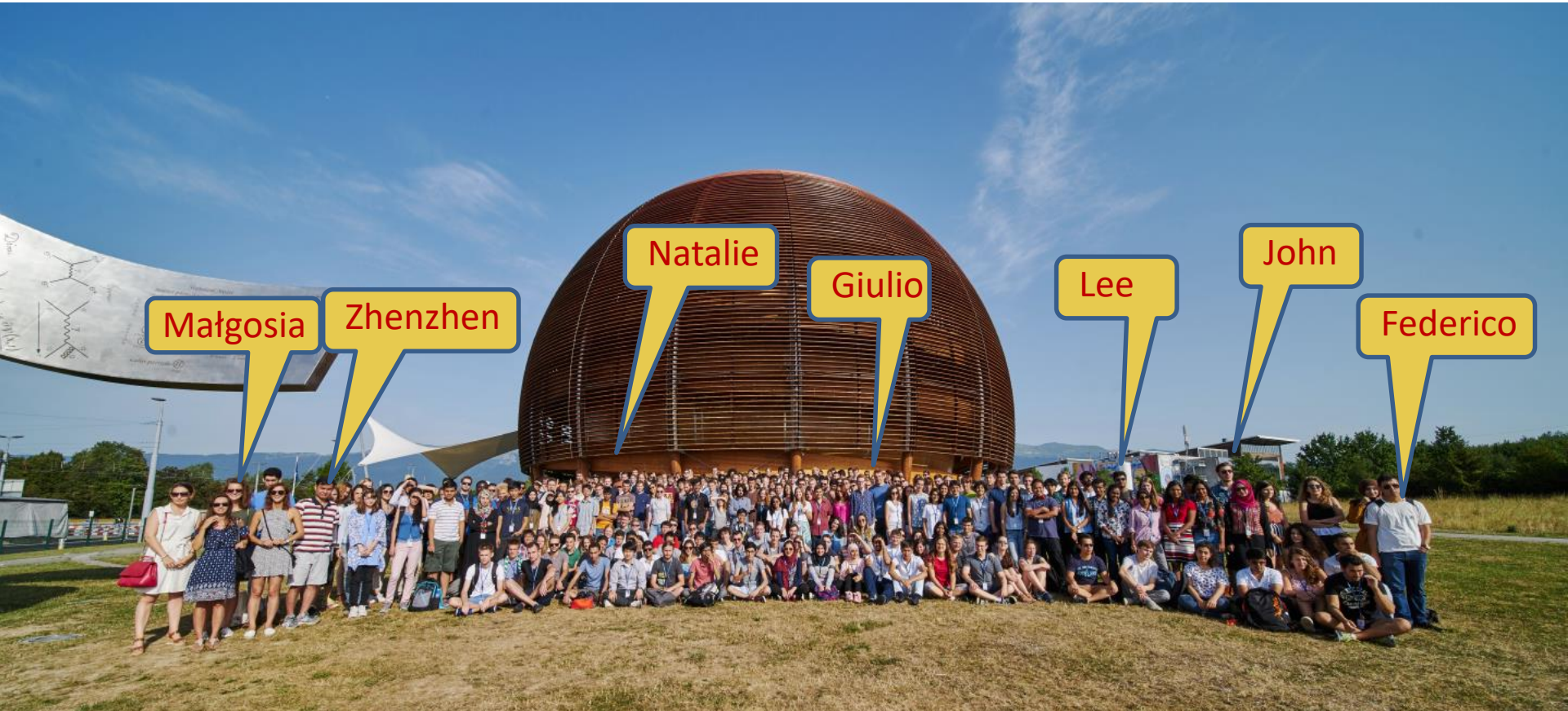
Spółeczność CERNu

CERN jest również ośrodkiem **edukacyjnym** – organizuje szkoły, kursy, szkolenia. Gromadzi społeczność międzynarodową, umożliwia transfer wiedzy i technologii.

Budowa i praca przy akceleratorach, zbieraniu danych przyczyniła się do znaczącego postępu w wielu dziedzinach, głównie związanych z **elektroniką i informatyką**.

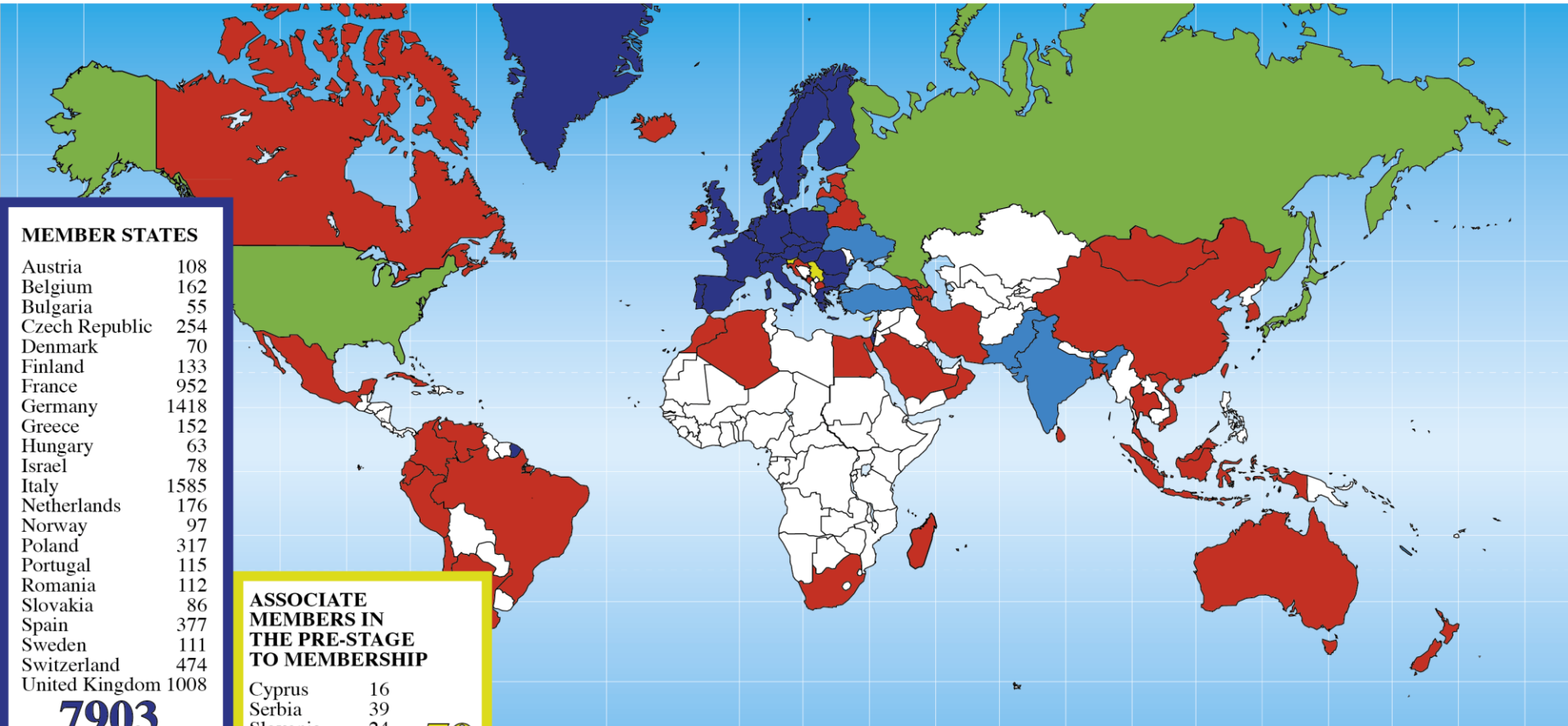


CERN summer students program



LHC - społeczeństwo

Distribution of All CERN Users by Location of Institute on 24 January 2018



MEMBER STATES

Austria	108
Belgium	162
Bulgaria	55
Czech Republic	254
Denmark	70
Finland	133
France	952
Germany	1418
Greece	152
Hungary	63
Israel	78
Italy	1585
Netherlands	176
Norway	97
Poland	317
Portugal	115
Romania	112
Slovakia	86
Spain	377
Sweden	111
Switzerland	474
United Kingdom	1008

7903

ASSOCIATE MEMBERS IN THE PRE-STAGE TO MEMBERSHIP

Cyprus	16
Serbia	39
Slovenia	24

79

ASSOCIATE MEMBERS 446

India	221
Lithuania	21
Pakistan	38
Turkey	129
Ukraine	37

OBSERVERS

Japan	285
Russia	1099
USA	2070

3454

OTHERS

Algeria	1	Chile	23	Iceland	2	Mexico	64	Sri Lanka	3
Argentina	20	China	283	Indonesia	7	Mongolia	2	T.F.Y.R.OM	2
Armenia	14	Colombia	27	Iran	26	Montenegro	7	Taiwan	68
Australia	36	Croatia	31	Ireland	10	Morocco	12	Thailand	19
Azerbaijan	5	Cuba	3	Korea	166	New Zealand	7	Venezuela	1
Bangladesh	3	Ecuador	4	Latvia	1	Oman	4	Viet Nam	1
Belarus	24	Egypt	25	Lebanon	10	Peru	3		
Brazil	135	Estonia	18	Madagascar	3	Saudi Arabia	1		
Canada	190	Georgia	28	Malaysia	7	Singapore	3		
		Hong Kong	19	Malta	8	South Africa	81		

1407

LHC - społeczeństwo



LHC - społeczeństwo

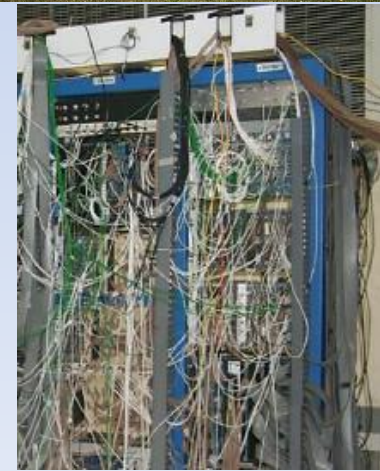
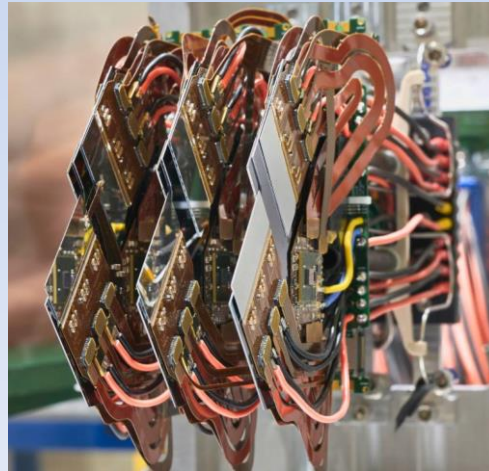


CERN: do zabrania do domu

- CERN jest przede wszystkim ośrodkiem naukowym, którego misją są badania fundamentalnych składników materii.
- CERN jest również ośrodkiem edukacyjnym – organizuje szkoły, kursy, szkolenia. Gromadzi społeczność międzynarodową, umożliwia transfer wiedzy i technologii.
- Budowa i praca przy akceleratorach, zbieraniu danych przyczynia się do znaczącego postępu w wielu dziedzinach, głównie związanych z elektroniką i informatyką.
- CERN zatrudnia obecnie 10 razy więcej inżynierów (mechaników, elektroników, informatyków, etc.) niż fizyków.



- Program badawczy CERNu i wyzwania dla fizyki nigdy się nie kończą...



Dziękuję za uwagę!

Zapraszam do dyskusji...