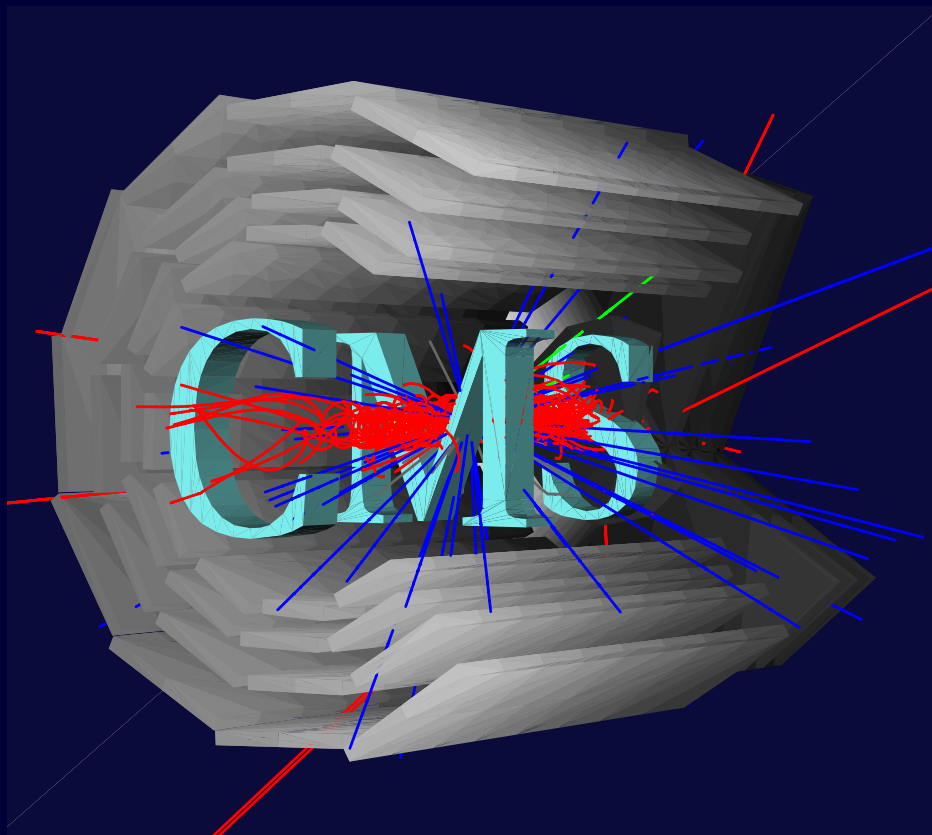


Od zderzenia do zmierzenia

Przepływ informacji w detektorze CMS

G.Wrochna



- **Cele współczesnej fizyki cząstek**
 - femtobarny i teraelektronowolty
- **Wymagane cechy akceleratora i detektorów**
 - nanosekundy i mikrony
- **System zbierania danych i tryger CMS**
 - GIPSy, TIPSy i petabajty
- **Problemy projektowania i planowania**
 - długie lata ...

Sytuacja obecna

Model Standardowy (SM) dobrze opisuje oddziaływania elektroslabe i silne. Dotychczas nie zaobserwowano żadnych znaczących odchyleń od jego przewidywań.

Ma jednak wady:

- ~20 wolnych parametrów
- masy cząstek generowane są przez mechanizm Higgsa nie wyjaśniony wewnątrz SM
- cząstka Higgsa nie została (jeszcze?) odkryta
- **SM nie wyjaśnia też**
 - istnienia trzech pokoleń fermionów
 - mieszania pomiędzy pokoleniami

Strategia na najbliższą przyszłość:

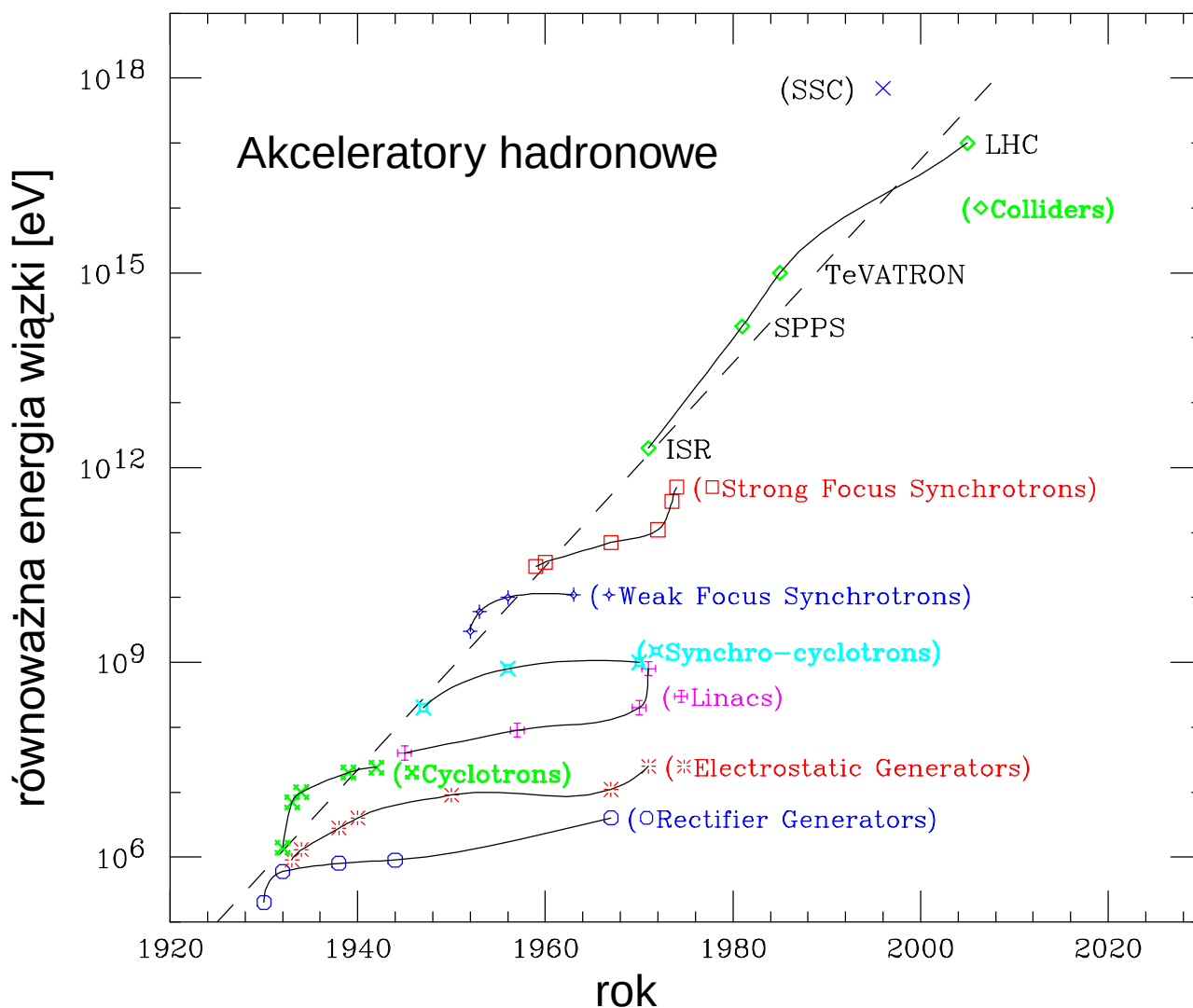
- znaleźć cząstkę Higgsa lub wykluczyć jej istnienie w obszarze dopuszczalnym przez teorię (~1 TeV)
- poszukiwać odchyleń od Modelu Standardowego
- poszukiwać nowych cząstek (~50 GeV — ~5 TeV)

Potrzebne narzędzia

- **akcelerator**
 - duża energia
 - szeroki zakres energii
 - duża świetlność
- **detektory**
 - uniwersalność (e, γ , μ , dżety, brakująca energia)
 - granularność (duża liczba cząstek)
 - szybkość (duża świetlność)

Akcelerator LHC

Wykres Livingstona

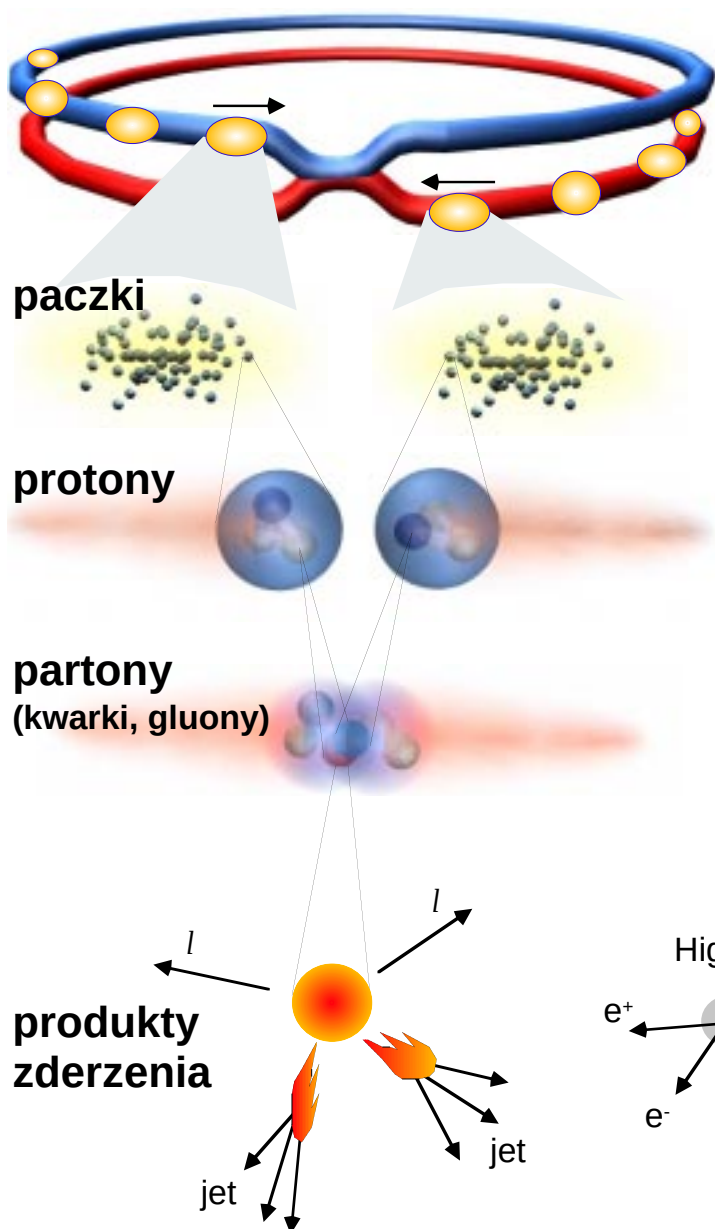


Użycie coraz to nowych technologii umożliwia szybki wzrost możliwości akceleratorów.

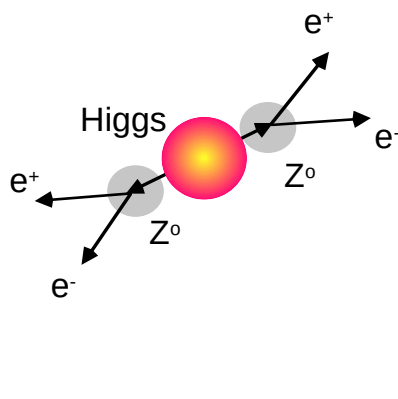
Zastosowanie magnesów nadprzewodzących w istniejącym tunelu LEP (CERN, Genewa) pozwoli zderzać protony z $\sqrt{s}=14$ TeV.



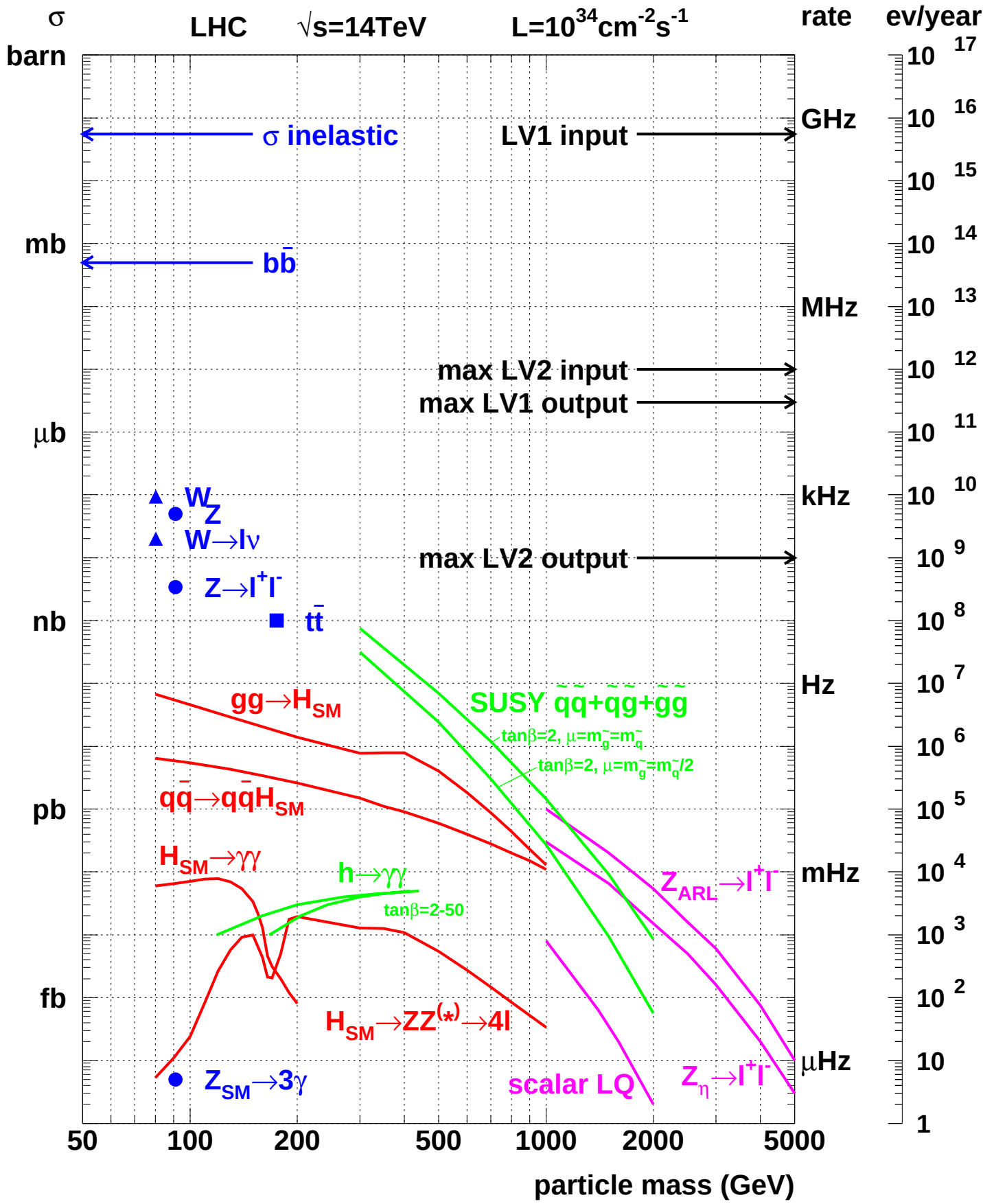
Zderzenia proton-proton w LHC



energia	7+7 TeV
obwód	27 km
pole mag.	8.4 T
światłość	$10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
# paczek	2×2875
#p / paczka	10^{11}
przecięcia paczek:	
częstość	40 MHz
odstęp	25 ns
czyli	7.5 m



Przy nominalnej światłości w każdym przecięciu paczek zajdzie 10-20 zderzeń proton-proton.



Selekcja przypadków

W ciągu 10 lat pracy LHC zajdzie 10^{17} zderzeń pp.

Zaobserwowanie 10 “egzotycznych” przypadków może stanowić epokowe odkrycie “nowej fizyki”.

Należy jednak umieć odszukać owe **10** przypadków wśród wszystkich **10^{17}** .

Szukanie igły w stogu siana?

- typowa igła — 5 mm^3
- typowy stóg siana — 50 m^3

$$\text{igła : stóg} = 1 : 10^{10}$$

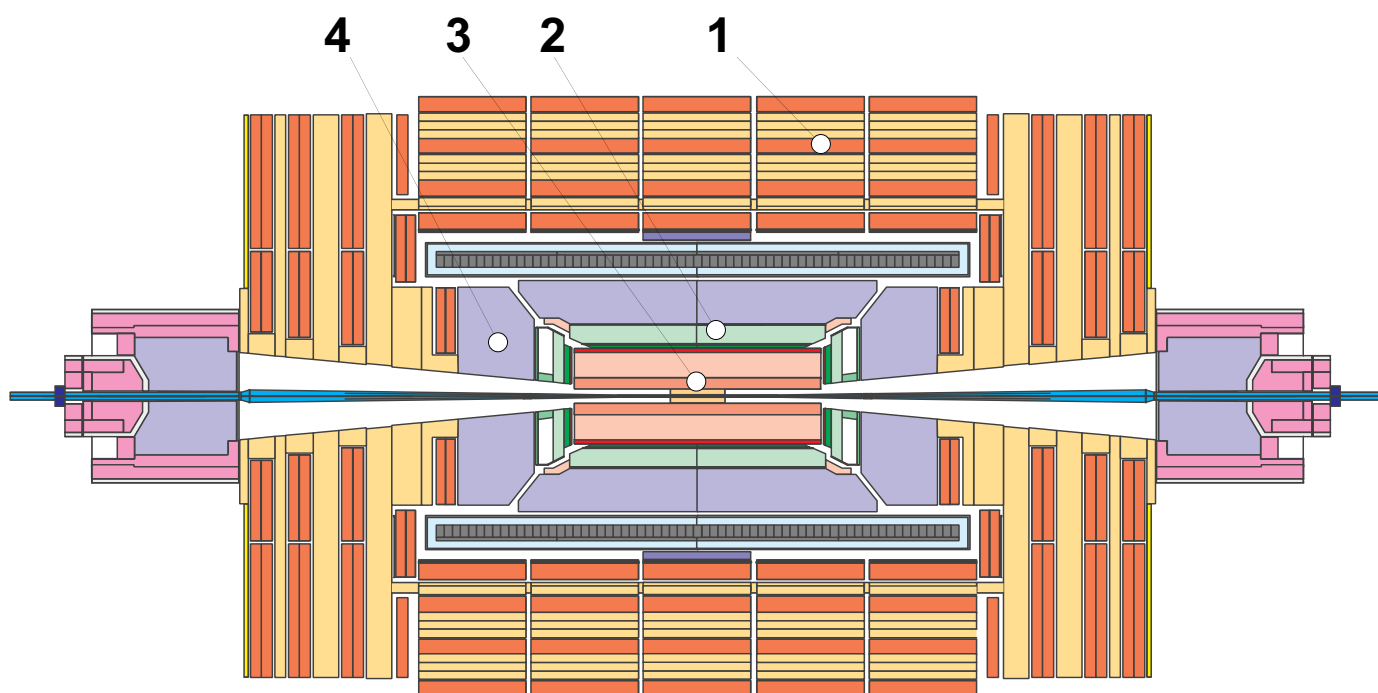
**Poszukiwanie “nowej fizyki” w LHC
to szukanie igły w milionie stogów siana.**

Eksperyment CMS

Compact Muon Solenoid - to detektor przeznaczony do badania zderzeń proton-proton w akceleratorze LHC.

Podstawowe założenia projektowe:

1. **Bardzo dobry system mionowy**
– precyzja pomiaru, hermetyczność, redundancja
2. **Najlepszy możliwy kalorymetr elektromagnetyczny**
– zdolność rozdzielcza, jednorodność, granularność
3. **Wysokiej jakości detektor centralny**
– gęstość próbkowania, precyzja pomiaru
4. **Hermetyczny kalorymetr hadronowy**



Budowa detektora CMS

**SUPERCONDUCTING
COIL**

ECAL Scintillating PbWO_4
Crystals

CALORIMETERS

HCAL Plastic scintillator
copper
sandwich

IRON YOKE

TRACKER

Micro Strip Gas Chambers (MSGC)
Silicon Microstrips
Pixels

MUON BARREL

Drift Tube
Chambers (DT)

Resistive Plate
Chambers (RPC)

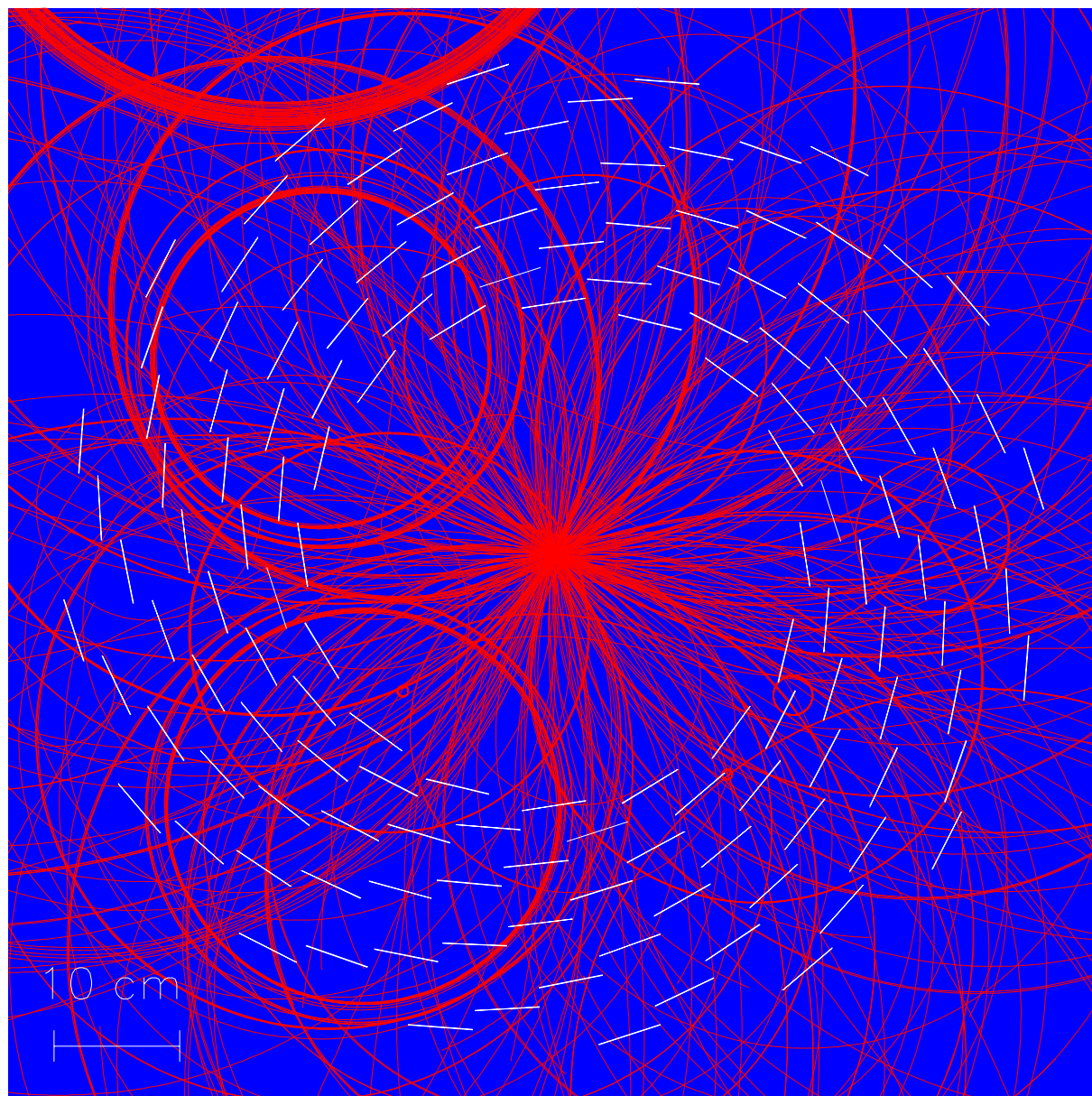
MUON ENDCAPS

Cathode Strip Chambers (CSC)
Resistive Plate Chambers (RPC)

Waga 12 500 ton
Średnica 15 m
Długość 22 m
Pole magn. 4 Tesle

Łamigłówka

18 nałożonych zderzeń pp,
widzianych przez wewnętrzną część krzemowego detektora
mikropaskowego.
Wśród nich rozpad cząstki Higgsa na 4 miony.

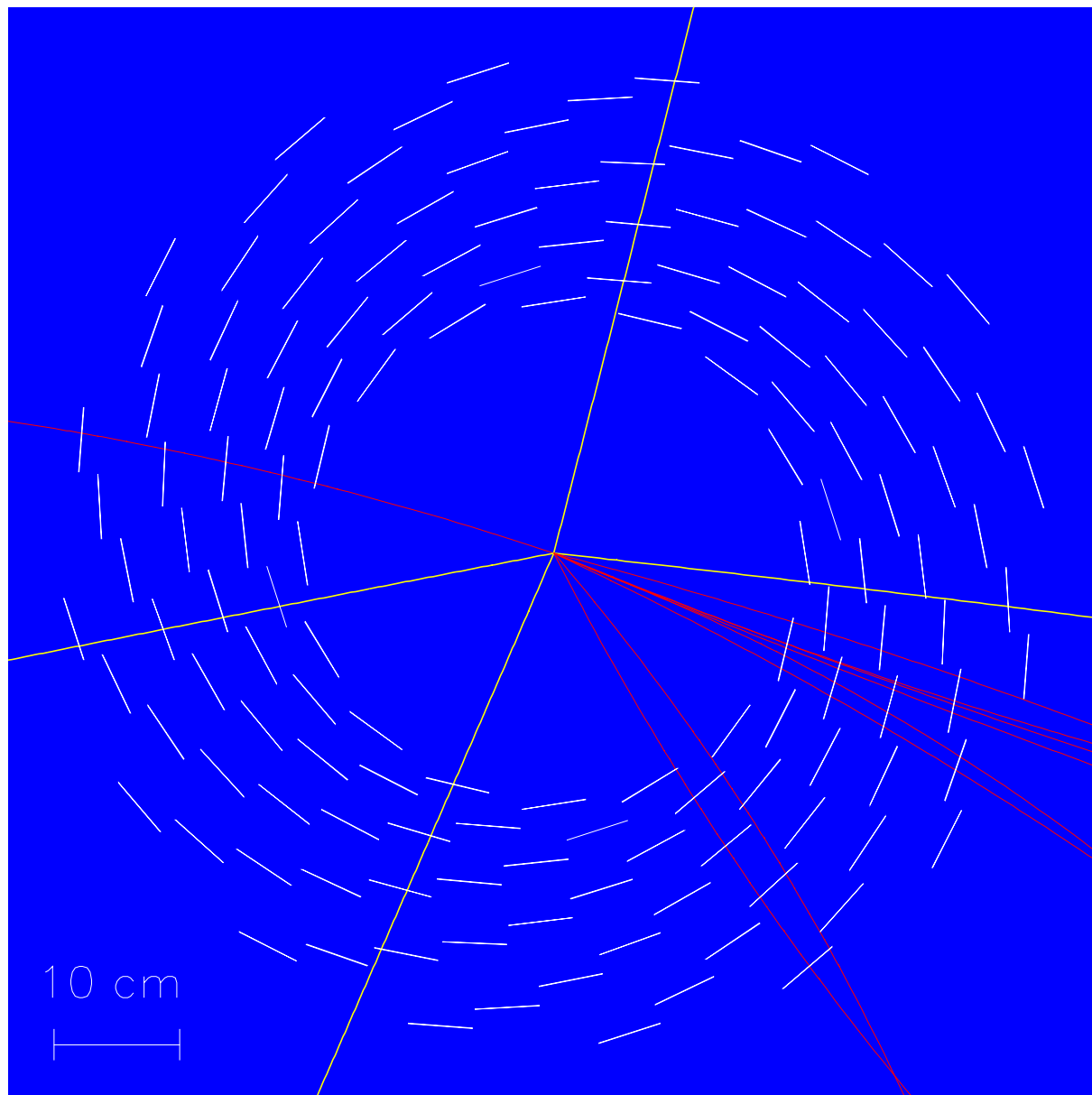


Znajdź 4 proste ślady.

Rozwiązanie łamigłówki

Zrekonstruowane ślady o $p_t > 2 \text{ GeV}$.

Wśród nich dobrze widoczne 4 miony z rozpadu Higgsa.



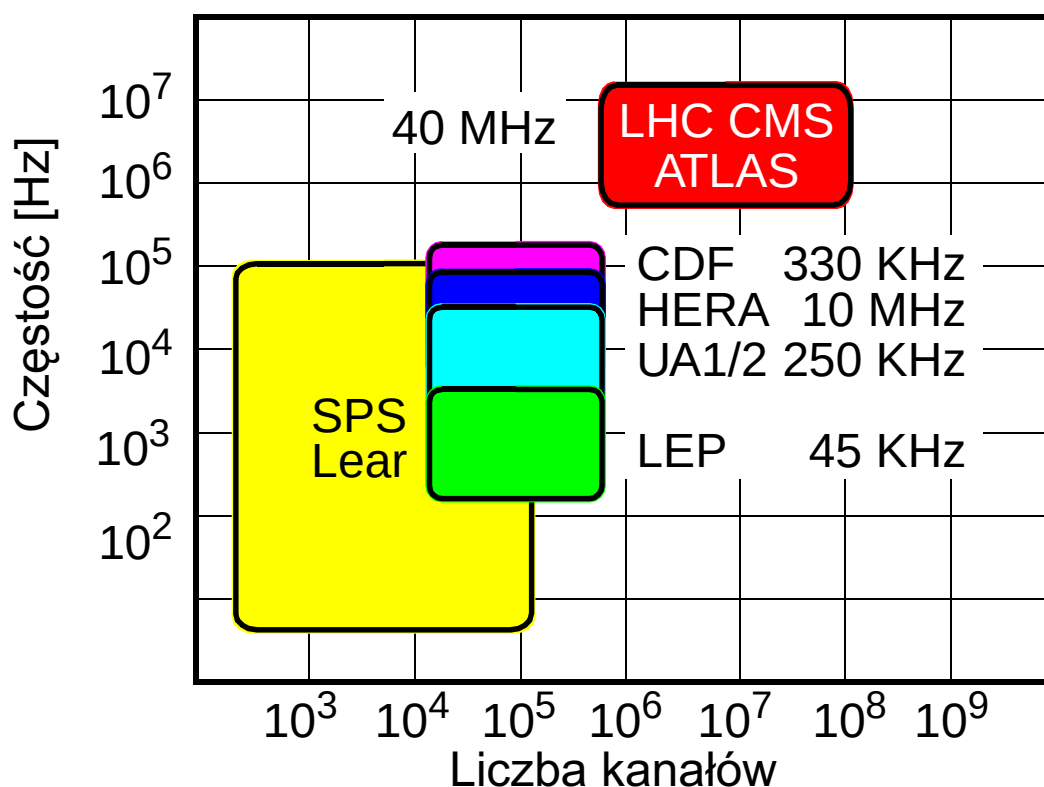
Rozwiązanie możliwe jeśli zajętość detektora $\sim 1\%$

→ powierzchnia mikropaska $\sim 1 \text{ mm}^2$

→ $> 10^7$ kanałów odczytu

CMS a inne eksperymenty

detektor	l. kanałów	zajętość	przypadek
mozaikowy	80 000 000	0.01 %	100 kB
mikropaskowy	16 000 000	3 %	700 kB
wczesnych kaskad	512 000	10 %	50 kB
kalorymetry	125 000	5 %	50 kB
mionowy	1 000 000	0.1 %	10 kB
całkowita wielkość przypadku			1 MB



Strumień danych kontrolnych CMS (temperatura, napięcie itp.) jest porównywalny ze strumieniem wszystkich danych jednego ze współczesnych eksperymentów LEP (100 kB/s)

System wyzwalania (tryger)

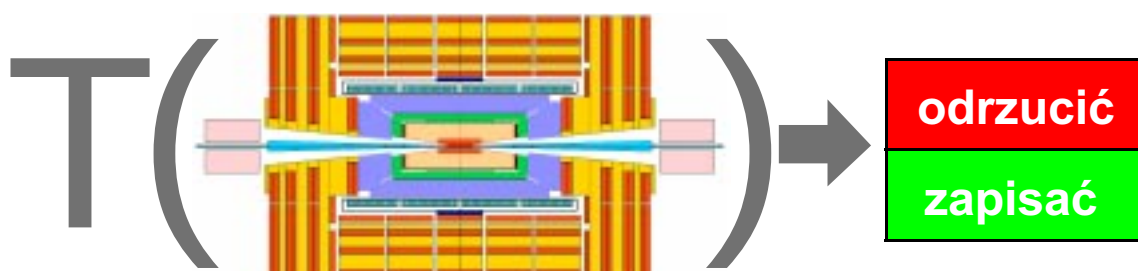
Nowoczesne systemy pamięci masowej pozwalają zapisywać ~ 100 MB/s.

Spośród $\sim 10^9$ przypadków zaobserwowanych w ciągu każdej sekundy jedynie 100 może być zapisanych.

Wyboru dokonuje system wyzwalania zwany *trygerem*.

TRYGER jest to dwuwartościowa funkcja

- zarejestrowanych danych
- stanu detektora
- badanej fizyki

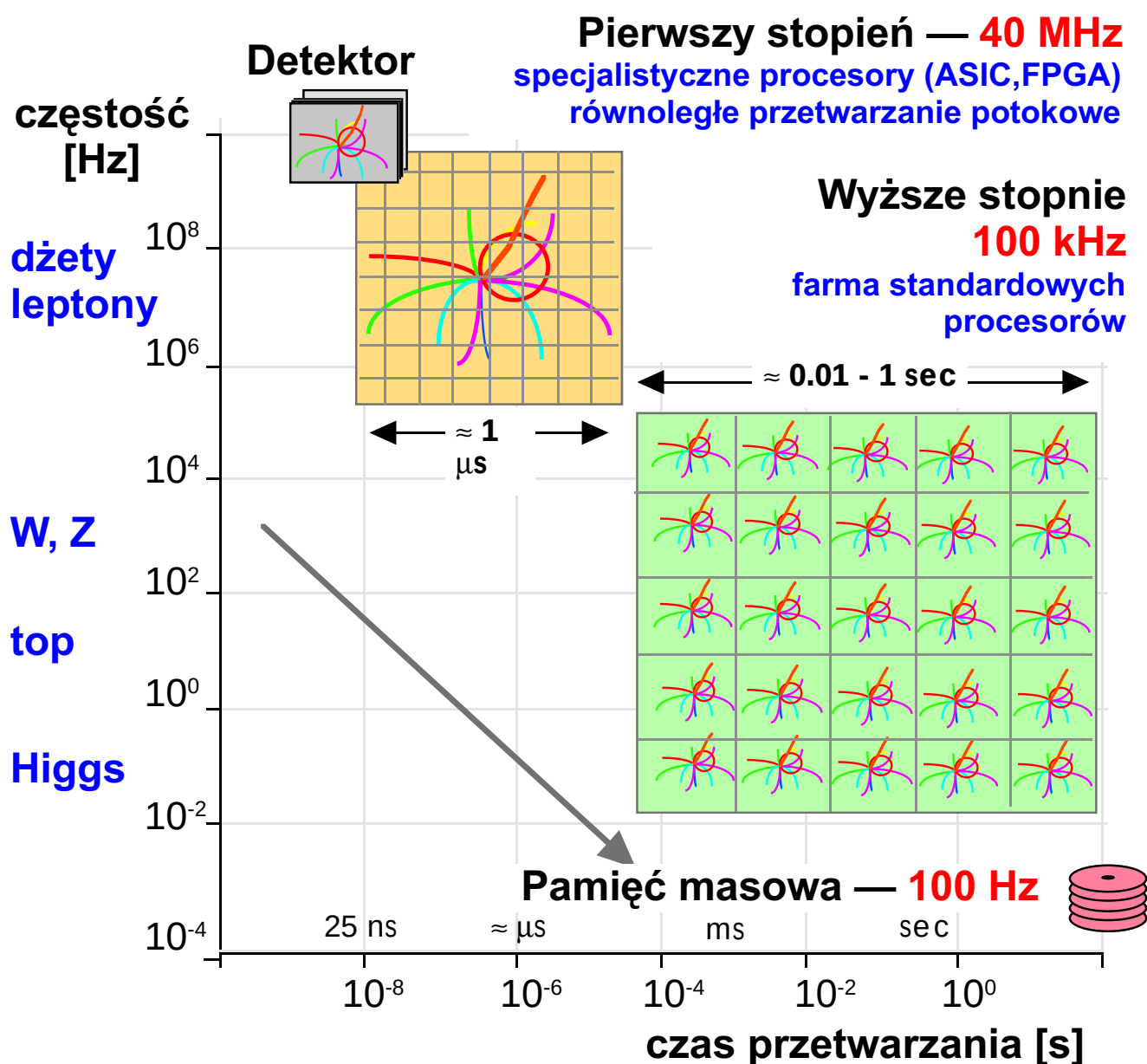


Ponieważ nie wszystkie dane są natychmiast dostępne a funkcja jest skomplikowana, $T(.)$ jest obliczane w kolejnych przybliżeniach zwanych

stopniami trygera

Do odrzucenia przypadku wystarczy ograniczona dokładność, do następnego stopnia przechodzą więc tylko przypadki z decyzją "zapisać".

Selekcja przypadków



Liczba procesorów w farmie CMS jest porównywalna z liczbą wszystkich stacji roboczych i komputerów osobistych w CERNie w 1995 roku (~4000).

Przetwarzanie potokowe

Tryger musi zanalizować dane z **każdego zderzenia**

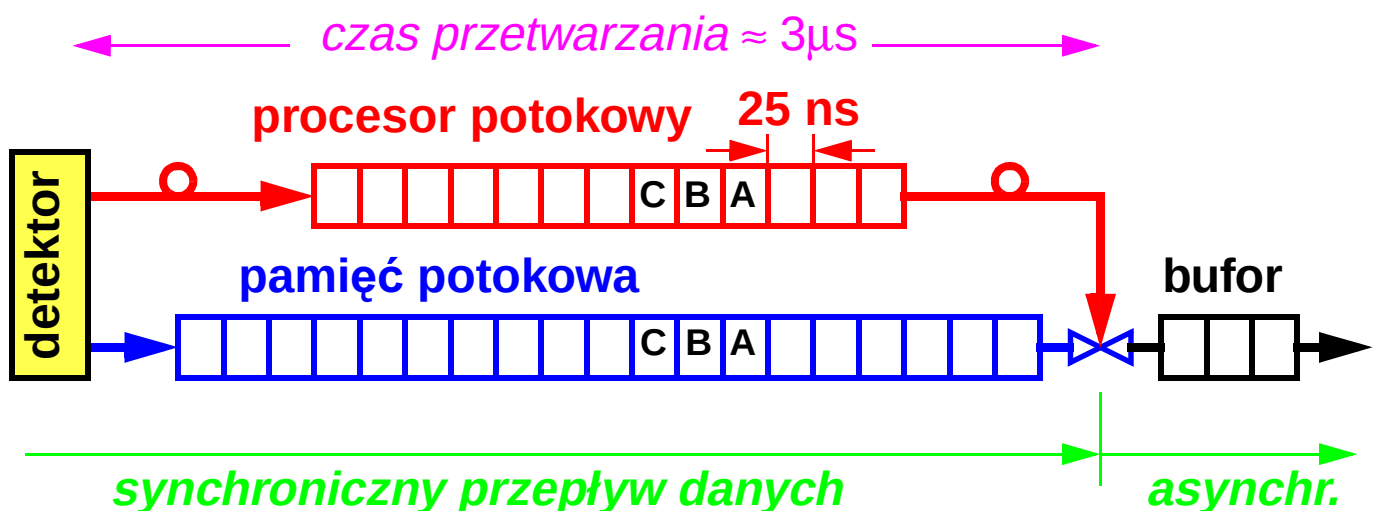
- **co 25ns** musi zapisać decyzja czy je zapisać

Jej wypracowanie wymaga jednak dłuższego czasu.

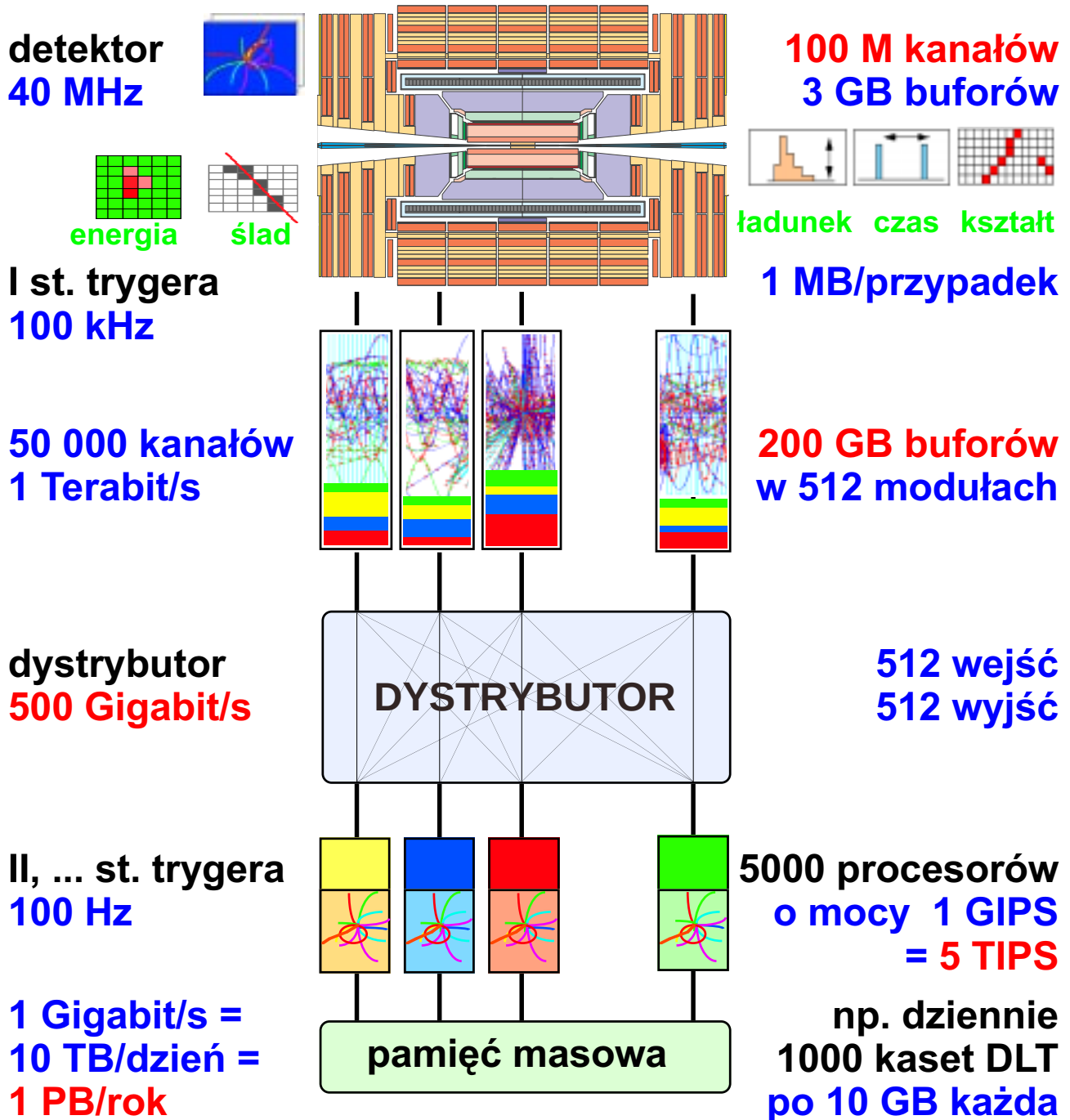
Rozwiązanie problemu:

przetwarzanie potokowe, czyli “*taśma produkcyjna*”:

- algorytm podzielony jest na kroki wykonywalne w 25ns;
- procesor stanowi łańcuch elementów, z których każdy wykonuje jeden krok algorytmu w 25ns i przekazuje wynik następnemu;
- w ten sposób przetwarzane dane płyną przez procesor $\sim 3\mu s$, a wyniki pojawiają się na jego wyjściu co 25ns;
- pełne dane czekają na decyzję trygera, płynąc synchronicznie w pamięci potokowej.



Przepływ danych w CMS



1 TB = 1 terabajt = 10^{12} bajtów
1 PB = 1 petabajt = 10^{15} bajtów

1 GIPS = 10^9 instrukcji/s
1 TIPS = 10^{12} instrukcji/s

Dystrybutor

Dystrubutor

to "górką rozrządową" systemu zbierania danych.

Jego zadaniem jest zebranie danych dotyczących danego przypadku ze wszystkich części detektora i przesłanie ich do określonego procesora.

moduły odczytu różnych części detektora



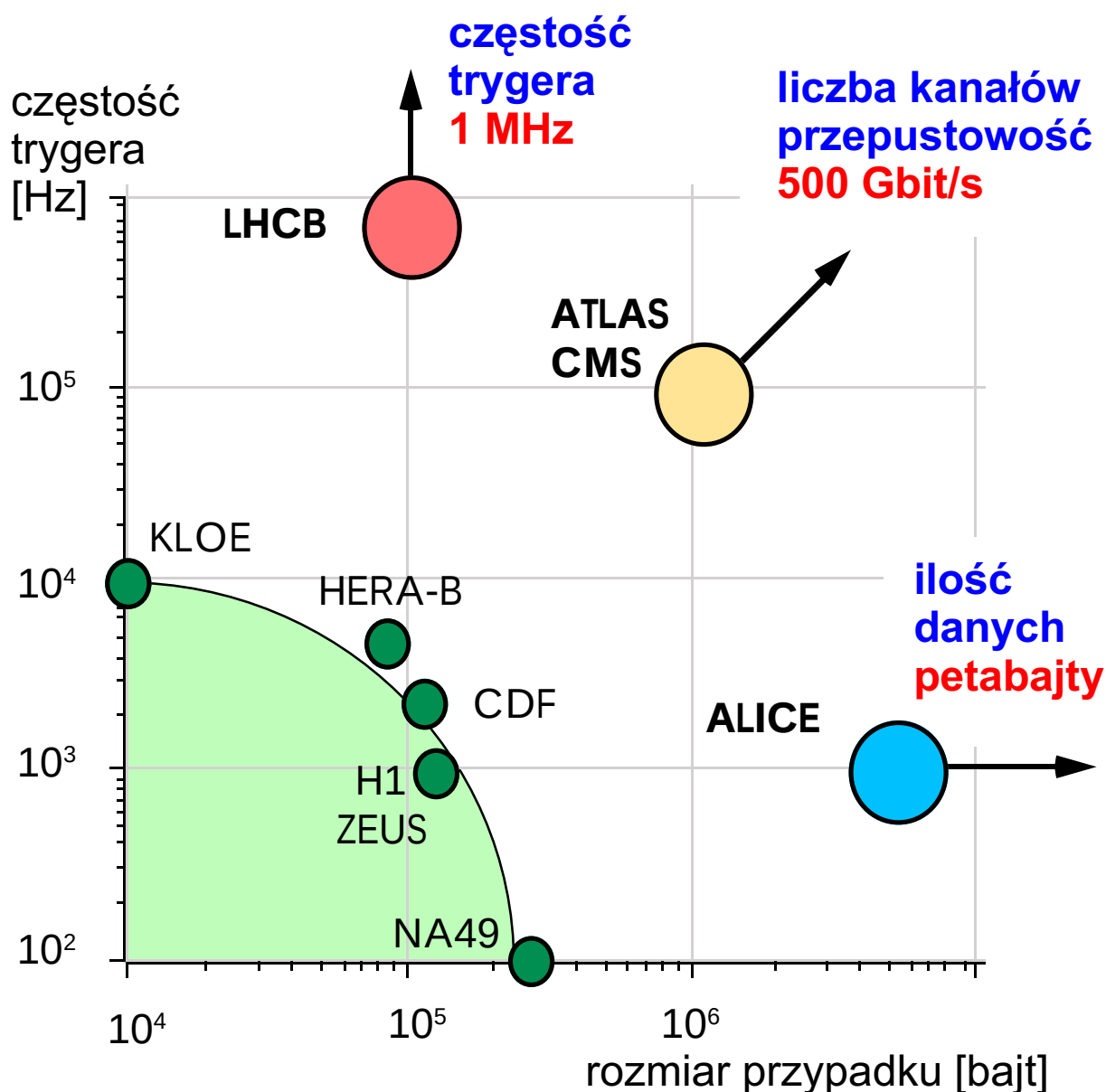
farma procesorów

przepustowość:

500 Gigabit/s

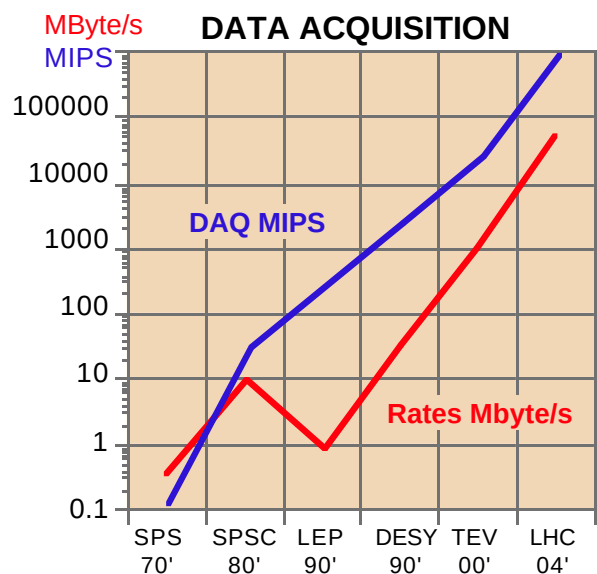
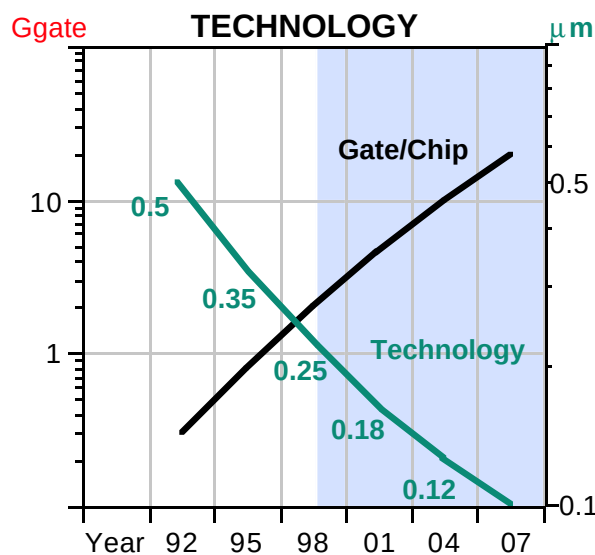
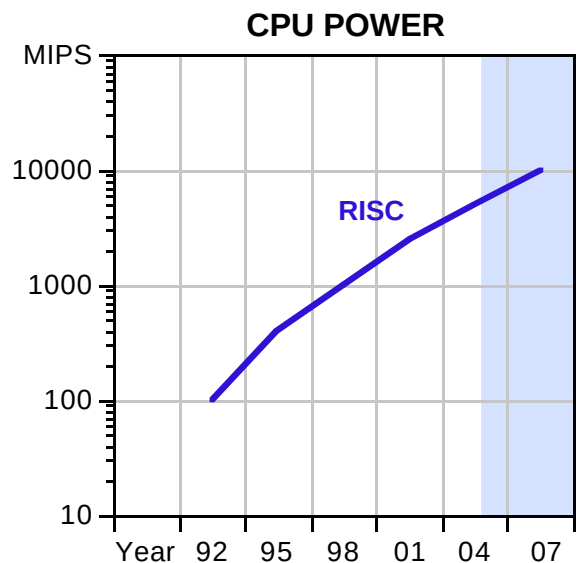
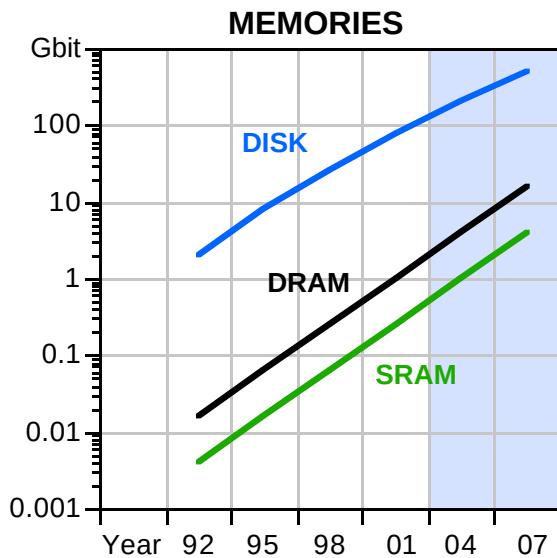
jest równoważna ilości danych przesyłanych przez całą dzisiejszą telekomunikację europejską.

Ewolucja systemów zbierania danych



Ilość danych przepływających przez system odczytu CMS w ciągu 5 minut pracy LHC jest porównywalna z całą ilością danych przesłanych przez wszystkie sieci w CERNie w ciągu całego 1995 roku.

Rozwój technologii

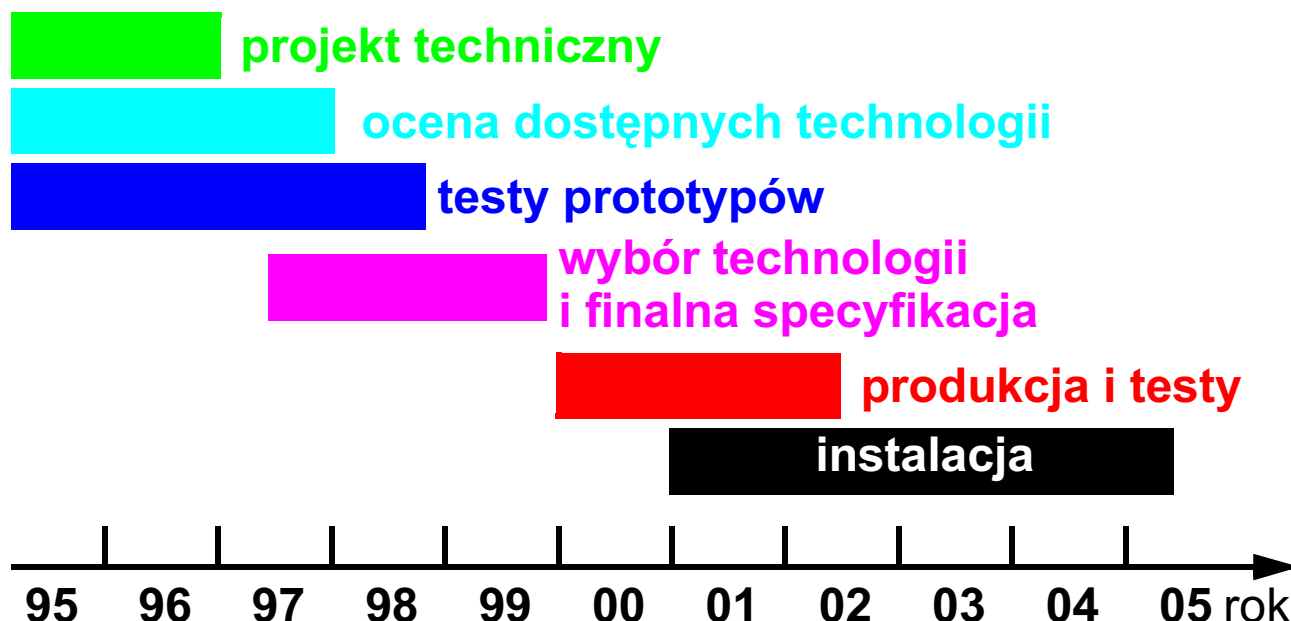


Moc obliczeniowa procesorów wzrasta 10 razy co 5 lat

Pojemność pamięci wzrasta 4 razy co 2 lata

Cała moc obliczeniowa CERNu w 1980 roku była mniejsza niż jednego współczesnego komputera osobistego.

Harmonogram prac



Skala przedsięwzięcia wymaga aby projekt techniczny był gotowy na **8 lat** przed uruchomieniem eksperymentu!

Aby urządzenie nie było przestarzałe już w momencie oddania do użytku, w czasie projektowania należy przewidzieć i uwzględnić możliwy rozwój technologii.

Cały system wyzwala i zbiera danych CMS zawiera ponad 10 000 modułów elektronicznych.

Jeżeli moduł psułby się średnio raz na 3 lata, codziennie należałoby wymieniać 10 modułów.

Podsumowanie

Współczesna fizyka cząstek ociera się o granice ludzkiego poznania, próbując zunifikować wszystkie znane obecnie oddziaływania.

Próba odpowiedzi na pytania przez nią stawiane wymaga sięgnięcia do bardzo **wysokich energii** 14 TeV i poszukiwania niezwykle **rzadkich zjawisk** $\sigma \sim fb$

Połączenie tych dwóch wymagań stanowi wyzwanie dla najnowocześniejszych technologii **informatycznych** i **telekomunikacyjnych**:

wysoka energia:

- duża liczba produkowanych cząstek $\sim 100/\text{przypadek}$
- precyzyjny pomiar w szerokim zakresie dynamicznym $\sim 100\mu/10m$

poszukiwanie rzadkich zjawisk:

- olbrzymia częstość oddziaływań $\sim 1 \text{ GHz}$
- nakładanie się oddziaływań 10-20
- mały stosunek sygnału do tła $1:10^{11} - 1:10^{16}$

wynikające z powyższego wymagania technologiczne:

- sterowanie przepływem olbrzymiej ilości danych 500 Gbits/s
- analiza przypadków w czasie rzeczywistym selekcja $1:10^7$
- gigantyczna moc obliczeniowa 5 TIPS
- super-pojemna pamięć masowa 1 PB/rok