

Akceleratorzy czyli największe mikroskopy świata

Janusz Gluza

Instytut Fizyki UŚ

<http://fizyka.us.edu.pl/>

Zakład Teorii Pola i Cząstek Elementarnych

<http://www.us.edu.pl/~ztpce/>

<http://www.us.edu.pl/~gluza>

początki

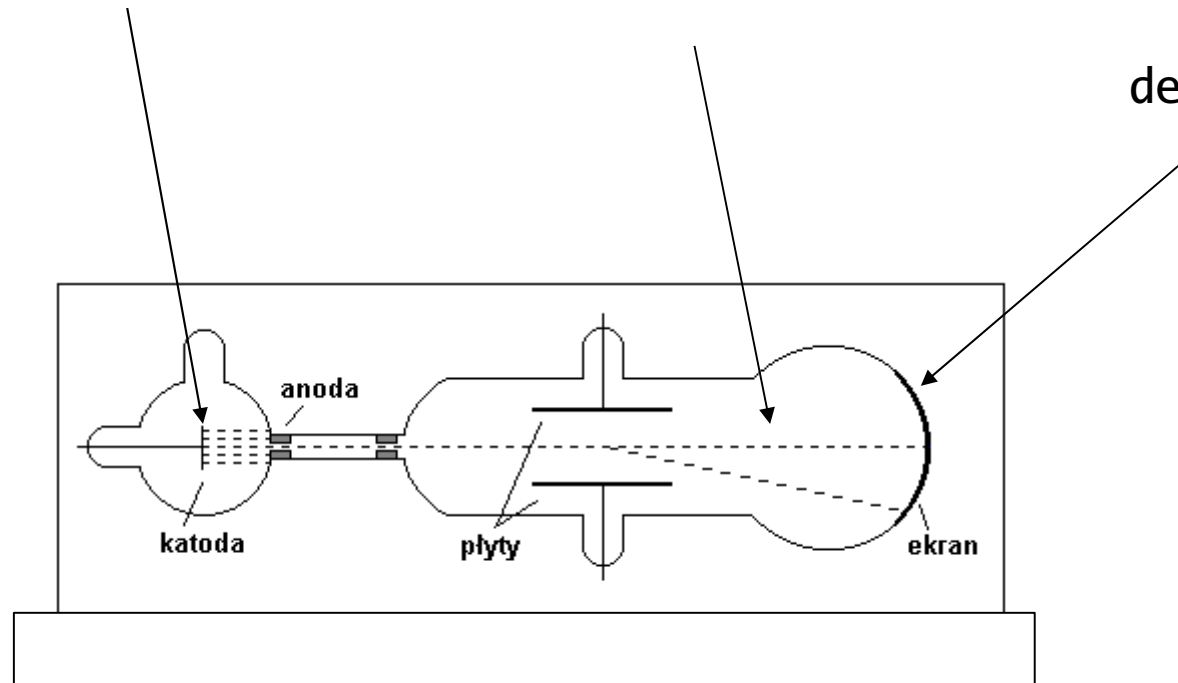
Joseph Thomson, **odkrył elektron**
(1897), Nobel 1906



źródło

Ruch (po torze zakrzywionym)

detektor

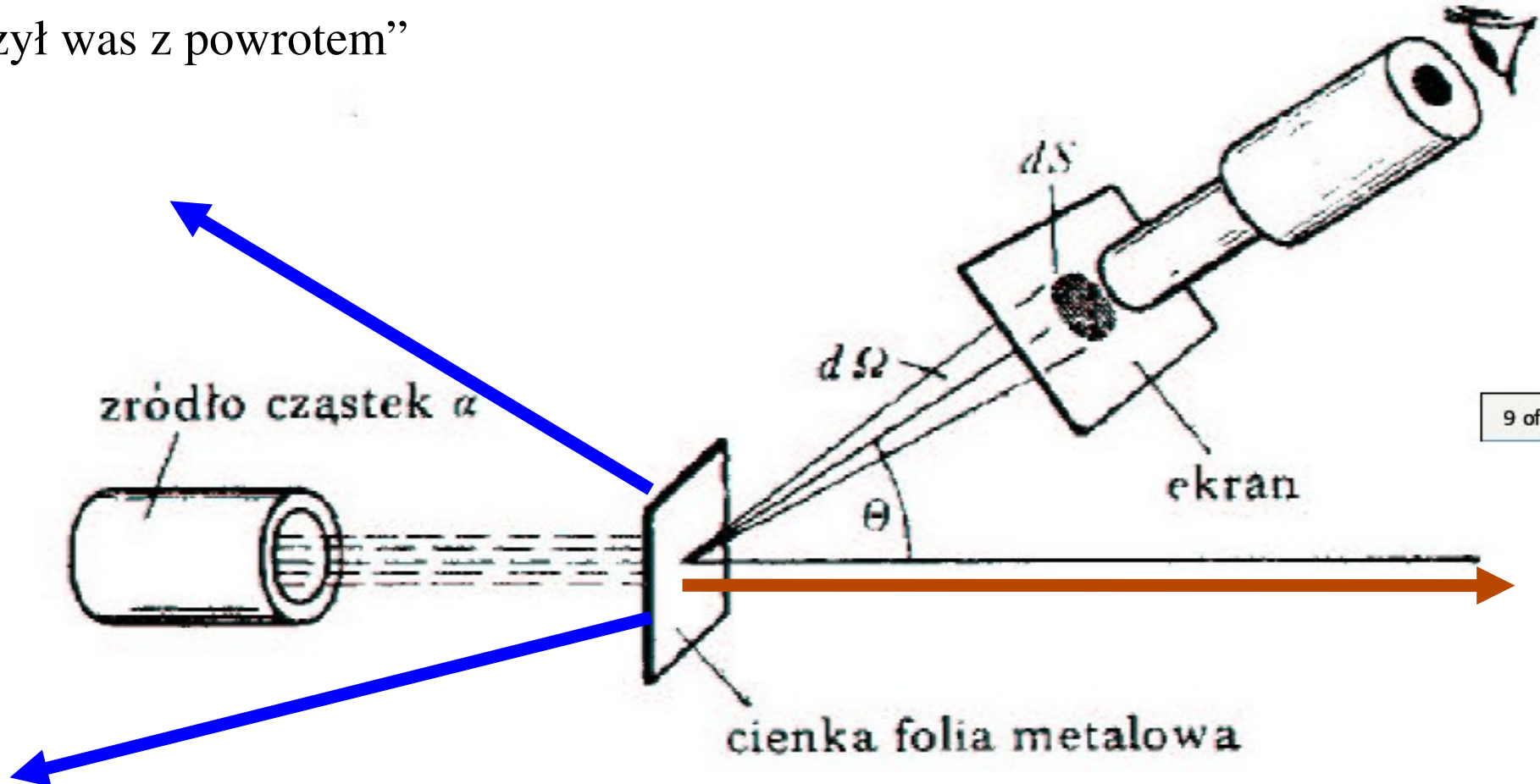


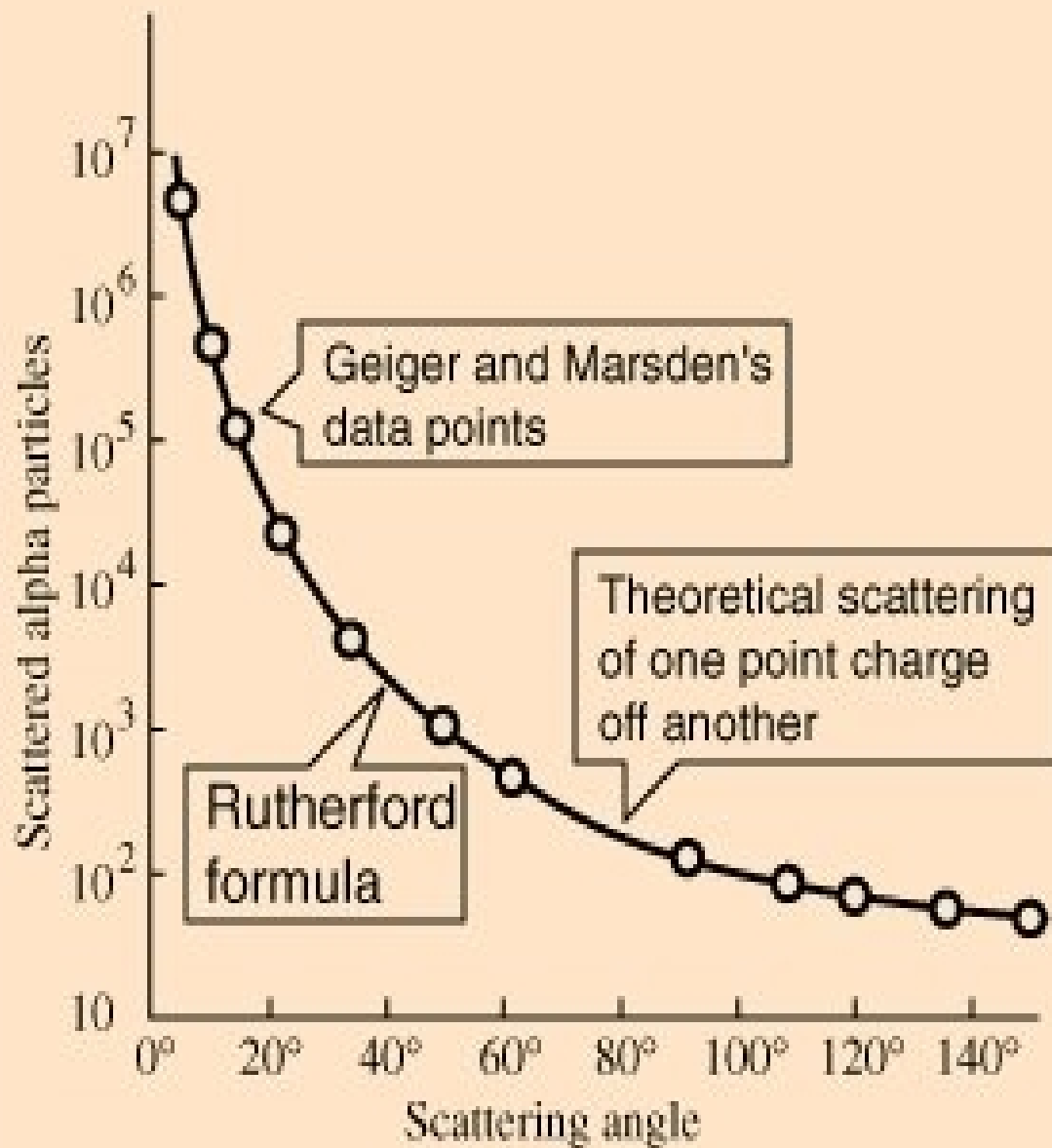
Akceleratorzy czyli ...

Doświadczenie Marsdena, Geigera, Rutherforda (1911): jeden z 10 najpiękniejszych eksperymentów z fizyki

Rozpraszanie do tyłu:

“To tak jakby wystrzelić pocisk w kierunku kawałka papierku, a on by się odbił i uderzył was z powrotem”

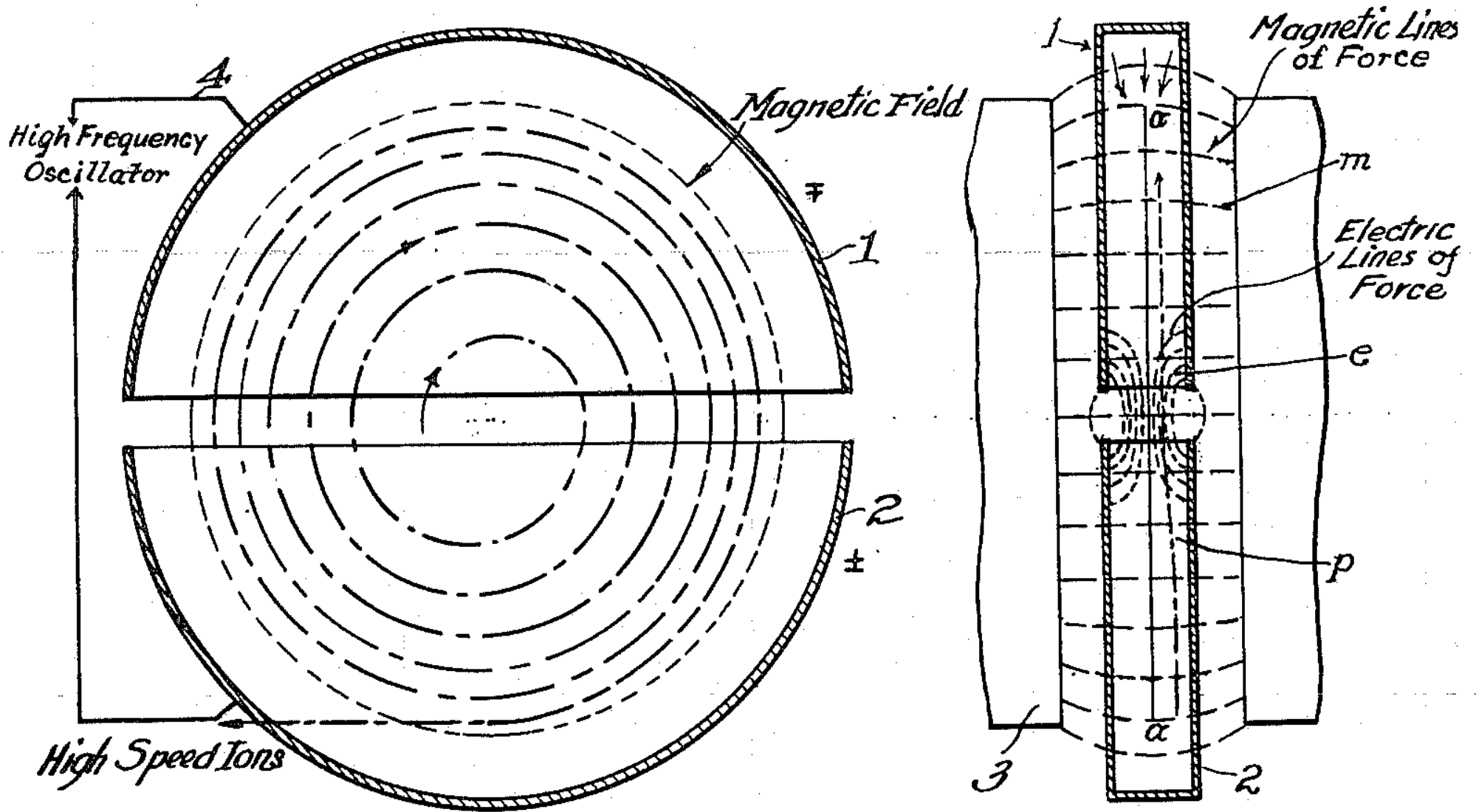




Przewidywanie Rutherforda co do ilości cząstek alpha rozproszonych pod danym kątem na jądrach atomowych złota **doskonale** zgadza się z eksperymentem

Rutherford:
atom 10^{-10} m,
jądro: 10^{-14} m

Lata trzydzieste, cyklotron



Zdjęcie z patentu Lawrence'a

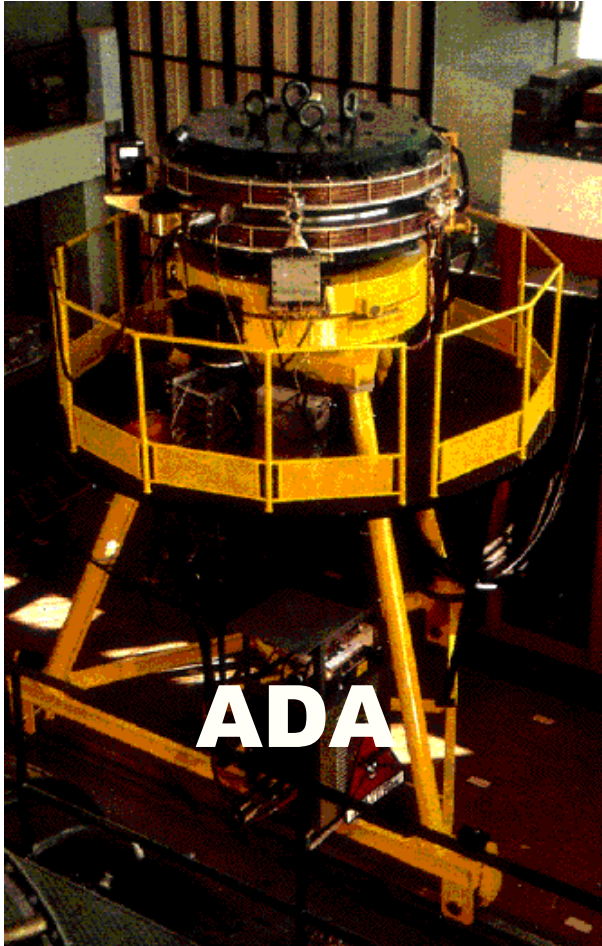
Akceleratorzy czyli ...

Zdjęcie z muzeum w Berkeley, USA



Akceleratorzy czyli ...

Pierwszy zderzacz e-e⁺



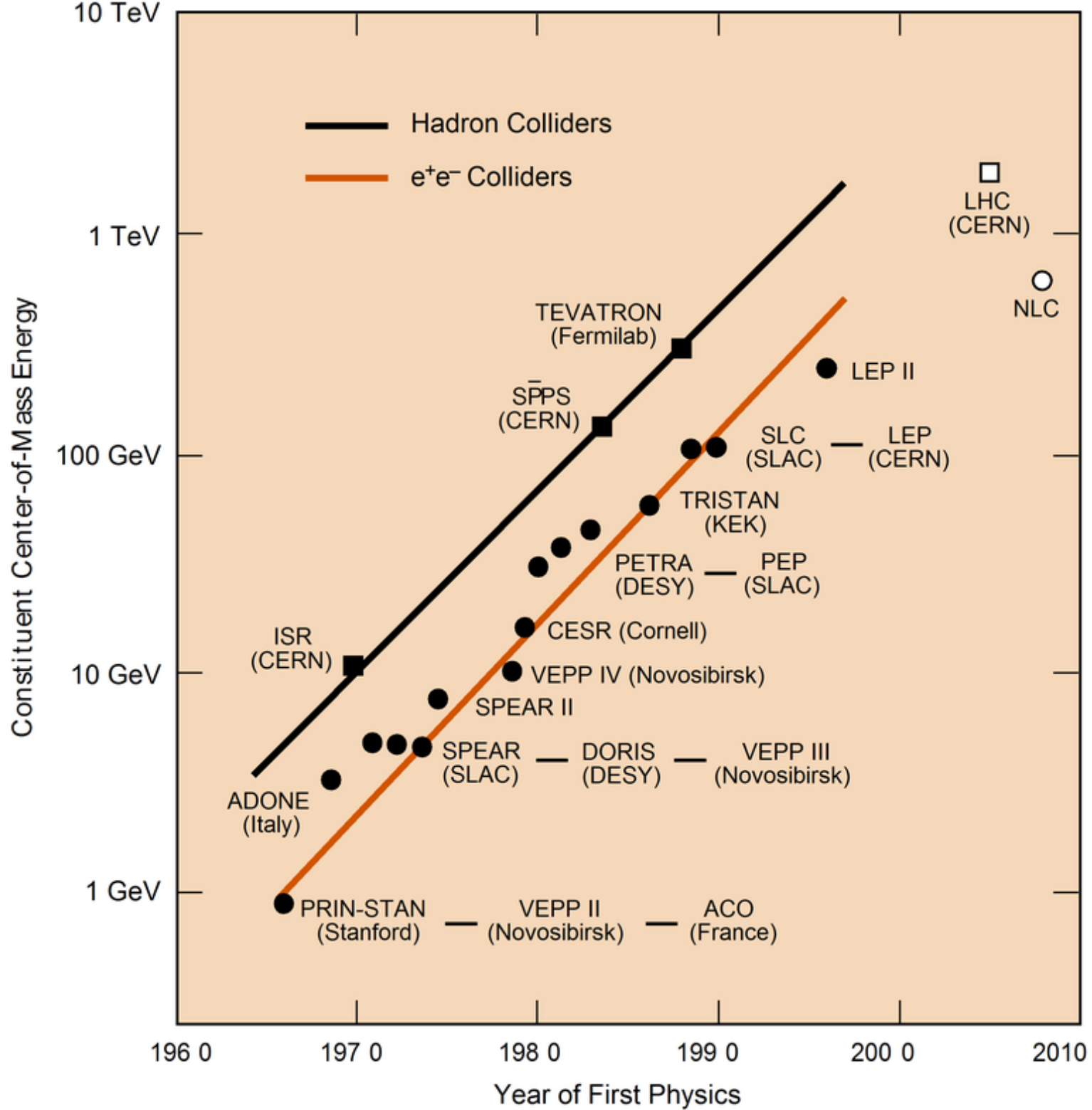
Bruno Touschek zbudował pierwszy zderzacz elektronowo-pozytonowy we Frascati, Włochy (1960)

doszedł do 3 GeV

Akceleratory czyli ...

3 GeV?

- $3 \text{ GeV} = 3000 \text{ MeV} \gg 0.5 \text{ MeV}$
- Cząstki relatywistyczne
- $V(1.5 \text{ GeV}) = 0.9999999944 \text{ c}$
- $V(100 \text{ GeV}) = 0.999999999999875 \text{ c}$ (LEP)
- $V(500 \text{ GeV}) = 0.999999999999995 \text{ c}$ (ILC)
- Przy okazji, protony w LHC:
- $V(7 \text{ TeV}) = 0.999999999019999995198 \text{ c}$



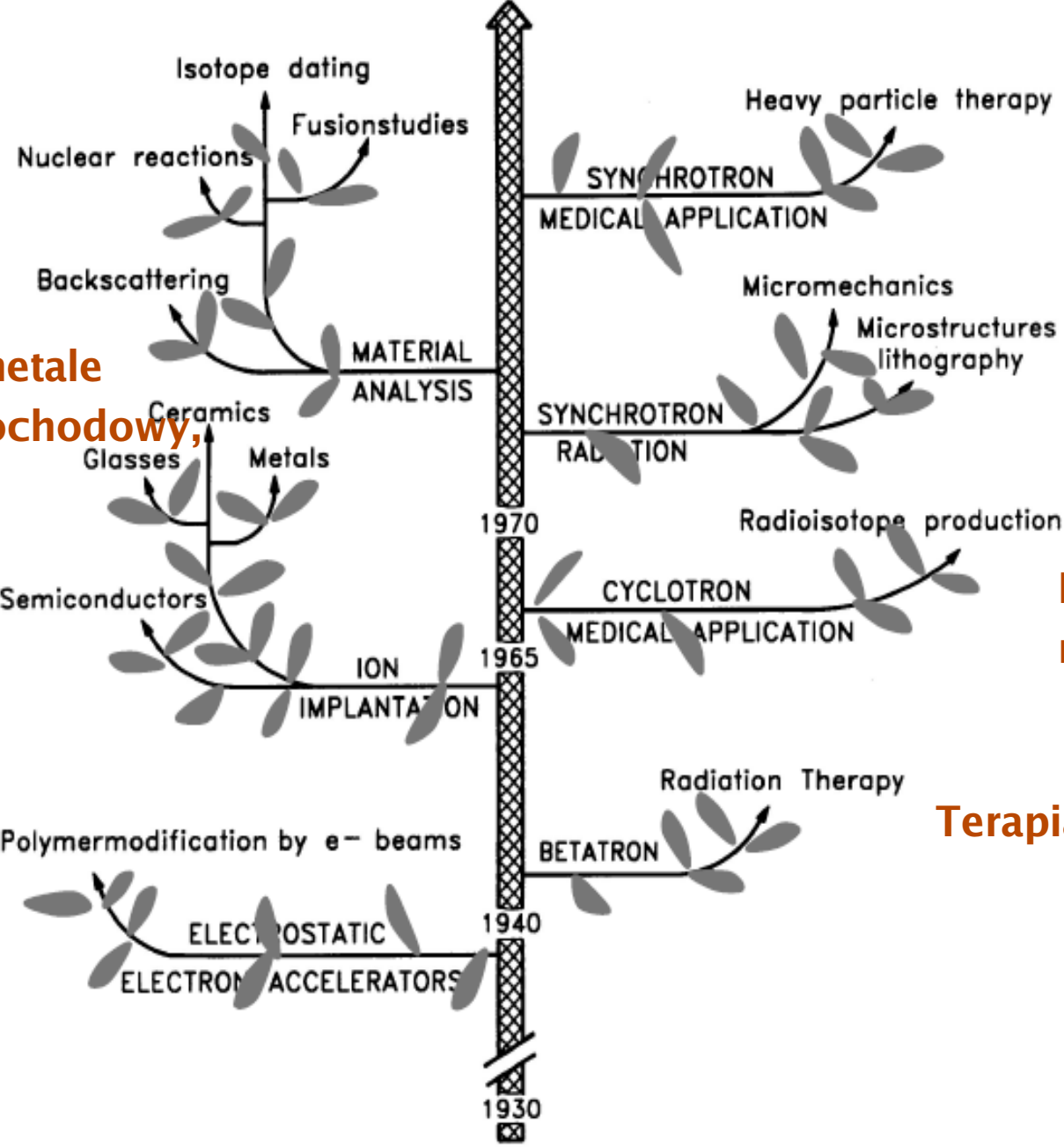
Dlaczego potrzebujemy urządzeń o coraz wyższych energiach?

- Aby lepiej zrozumieć świat (fizykę)

Dlaczego potrzebujemy urządzenia o coraz wyższych energiach?

- Aby lepiej zrozumieć świat (fizykę)
- Aby poprzez fizykę stymulować rozwój innych dziedzin nauki

BASIC RESEARCH
fundamental forces



Fizyka jądrowa,
fuzje,
datowanie

Terapia ciężkimi
jonami

Ceramika, szkło, metale
np. przemysł samochodowy,
samochodowy

litografia

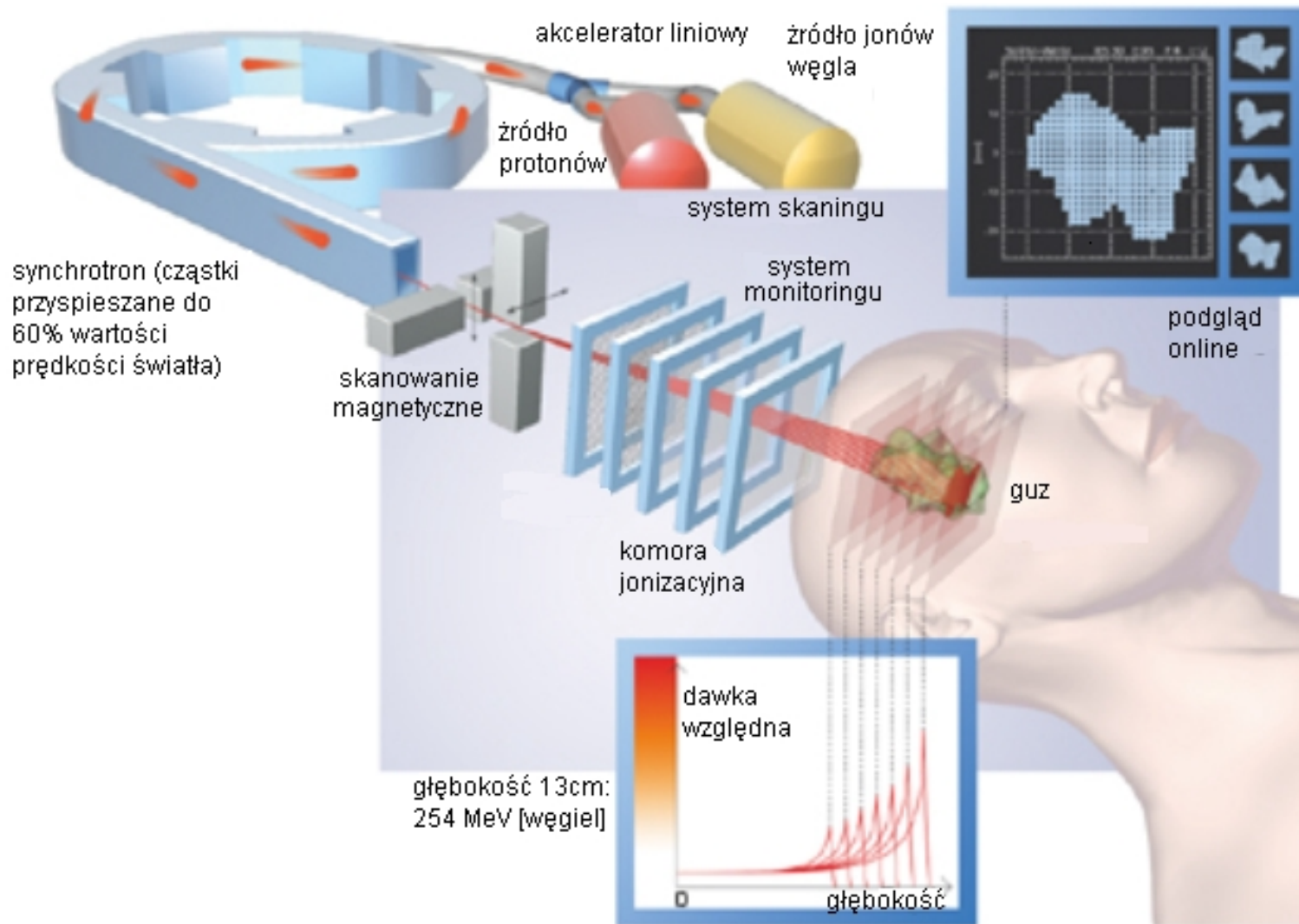
Nadprzewodniki

Produkcja
radioizotopów

Modyfikacja
polimerów

Terapia promieniowaniem

TERAPIA HADRONOWA Nowotworów



Akceleratory czyli ...

Terapia oka przy pomocy wiązki protonów



Szczegóły: prof. W. Zipper (wykłady), studia Fizyka Medyczna IF

Akceleratory czyli ...

Polskie Konsorcjum Radioterapii Hadronowej (12.09.2006)

Członkowie:

IFJ PAN Kraków (koordynator NCRH Marek Jeżabek)

Akademia Medyczna w Warszawie

Centrum Onkologii – Oddział w Warszawie

Centrum Onkologii – Oddział w Krakowie

Świętokrzyskie Centrum Onkologii

Instytut Problemów Jądrowych im. Andrzeja Sołtana

Uniwersytet Warszawski

Uniwersytet Śląski

Akceleratory czyli ...

- ***Z praktyki do teorii***

Im głębiej chcemy wejść w materię, tym **większe** potrzebujemy energie



Hipoteza de Broglie'a: $p = h/\lambda$

p (ęd): materia

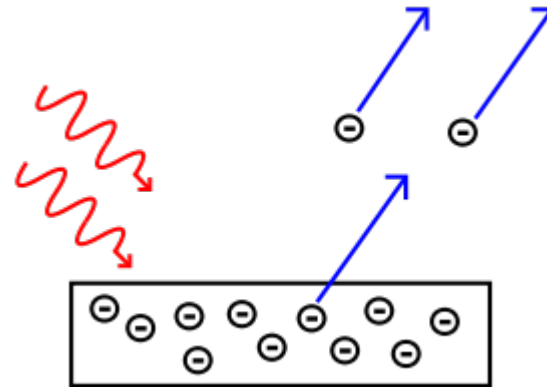
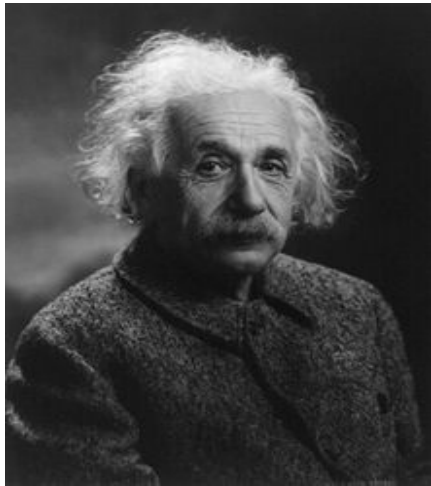
dualizm

λ : fala

Im większa energia, tym długość fali mniejsza, fala „widzi“ szczegóły badanego obiektu, do dużych obiektów stosujemy zwykłe mikroskopy do coraz mniejszych obiektów zwykłe światło zmieniamy w cząstki elementarne

Akceleratory czyli ...

aby zrozumieć tzw. **efekt fotoelektryczny**, **Einstein** założył, że fotony niosą energię w porcjach (**kwantach**), de Broglie odwrócił problem, opisał swoją hipotezę w pracy doktorskiej, po 5 latach nagroda Nobla



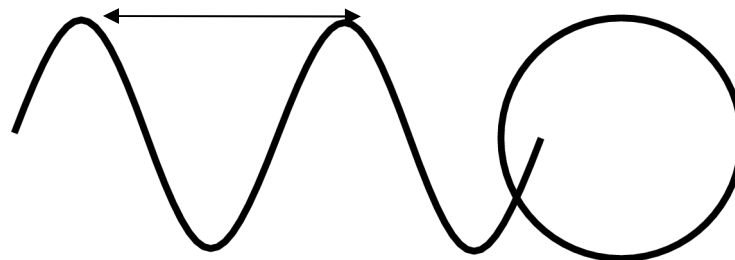
Akceleratory czyli ...

Znaczenie długości fali cząstki padającej

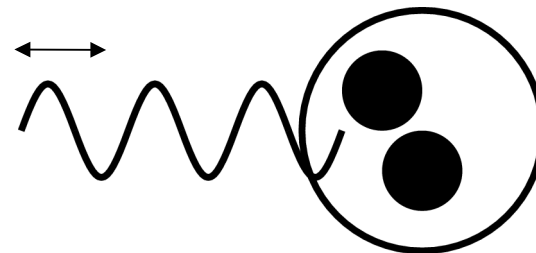
Obecnie
“mikroskopy” widzą
obiekty o
rozmiarach 10^{-15} m



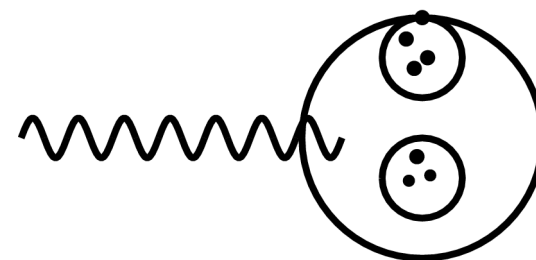
foton – jadro



foton – nukleony



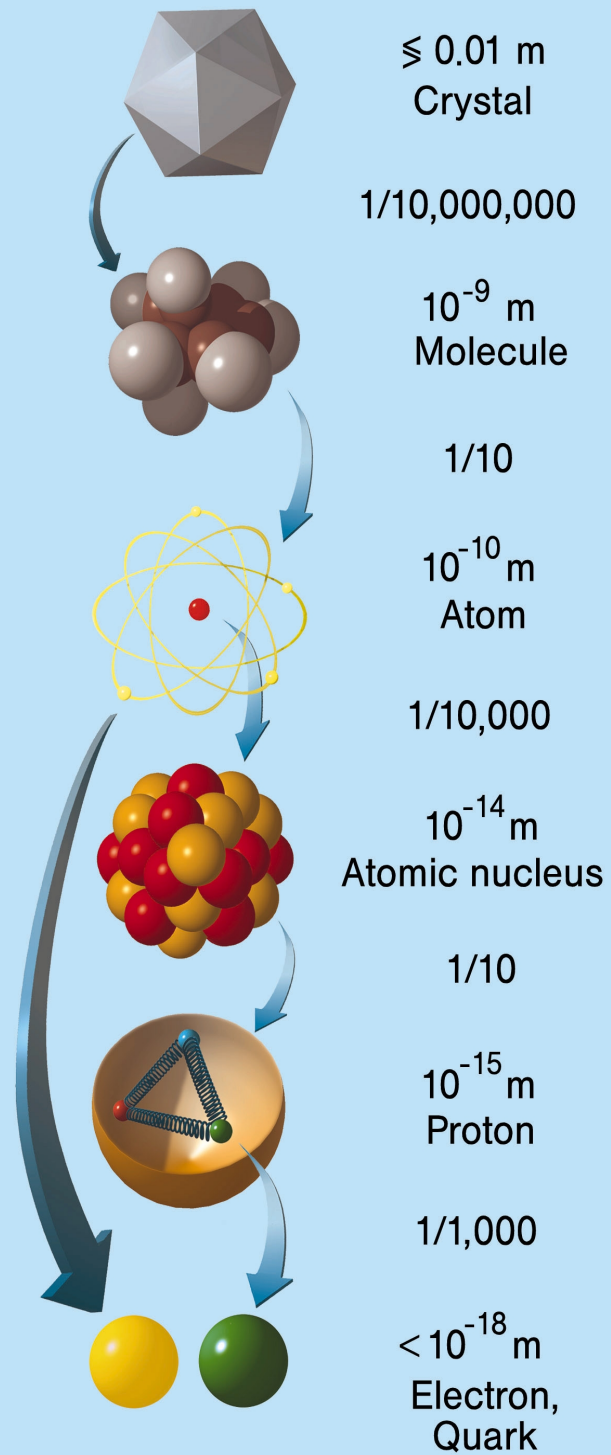
foton – partony



Jesteśmy w tym miejscu



Akcelerator

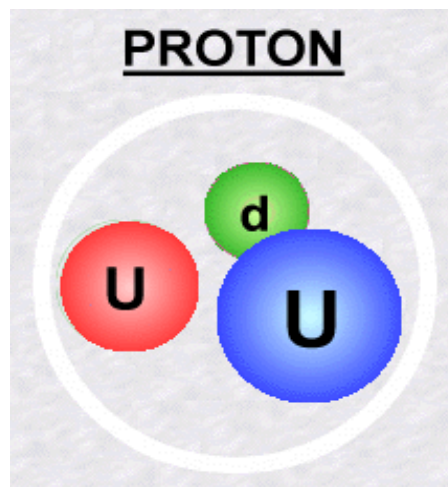
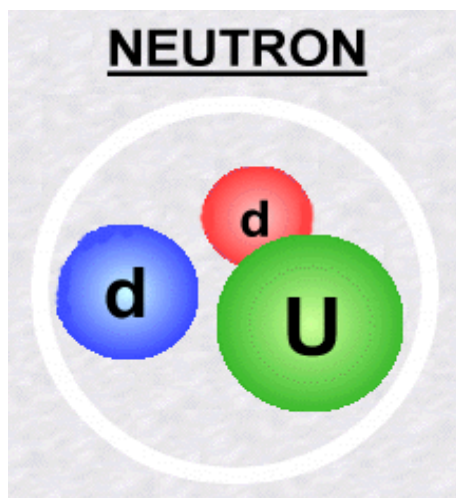


Synchrotron radiation DORIS III/HASYLAB

Particle physics HERA

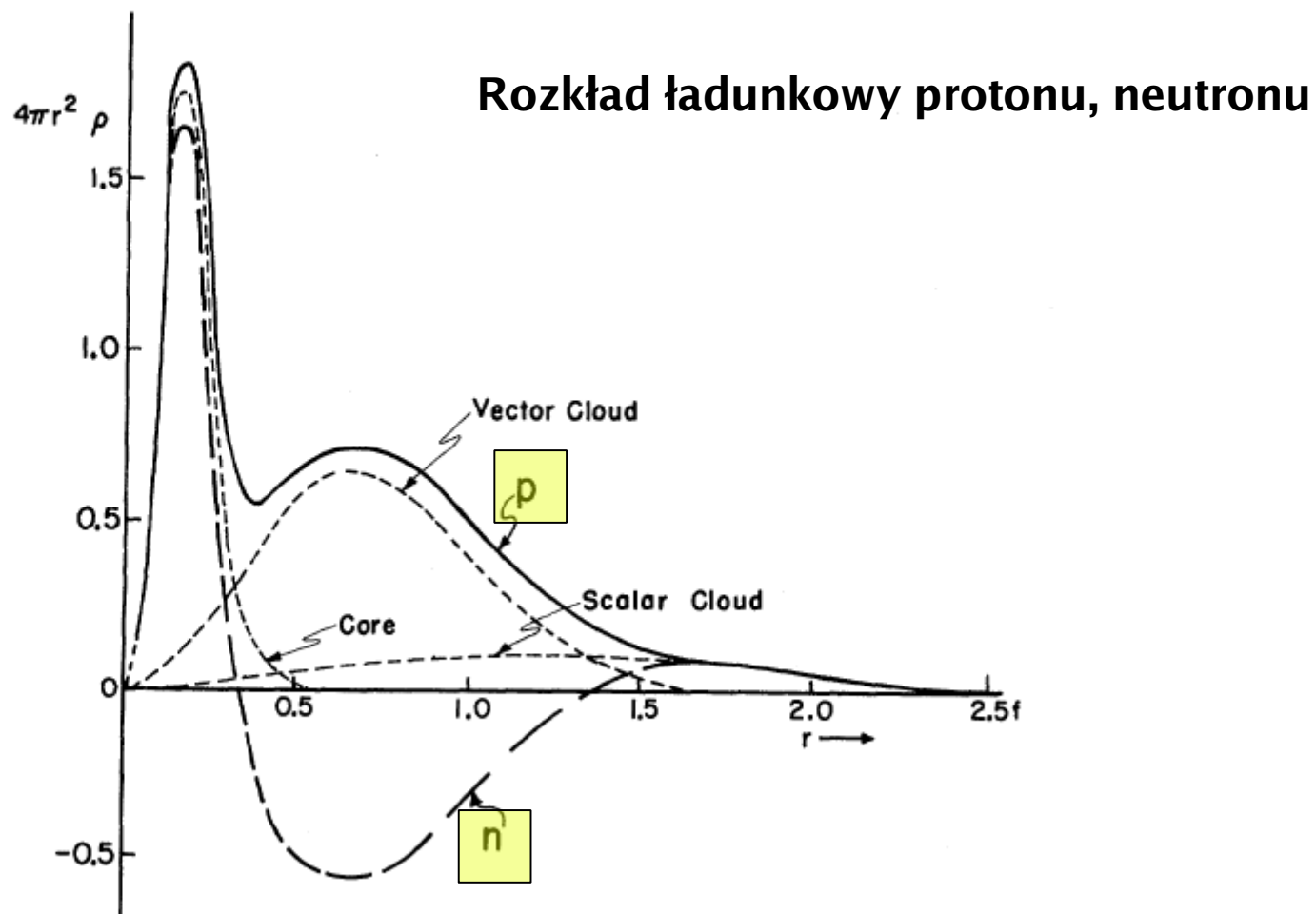
Lata 50,60,70-te

- Proton, a także neutron to bardzo złożone obiekty (no i są "kolorowe" w środku)



Eksperymenty Hofstadtera (Nobel, 1961)

Olson, Schopper, Wilson (1961)

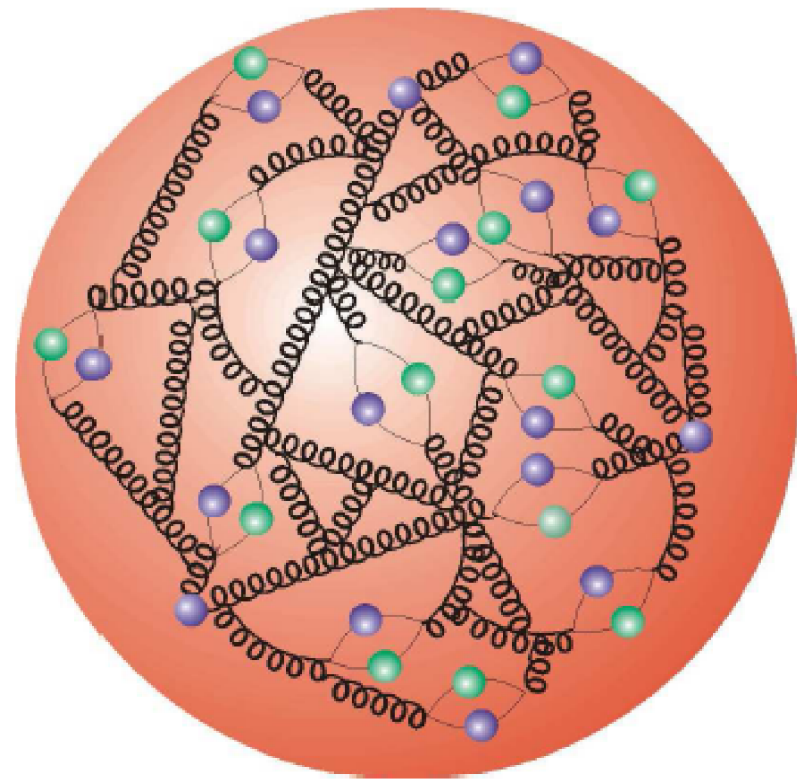


Nie są to obiekty punktowe!

Akceleratory czyli ...

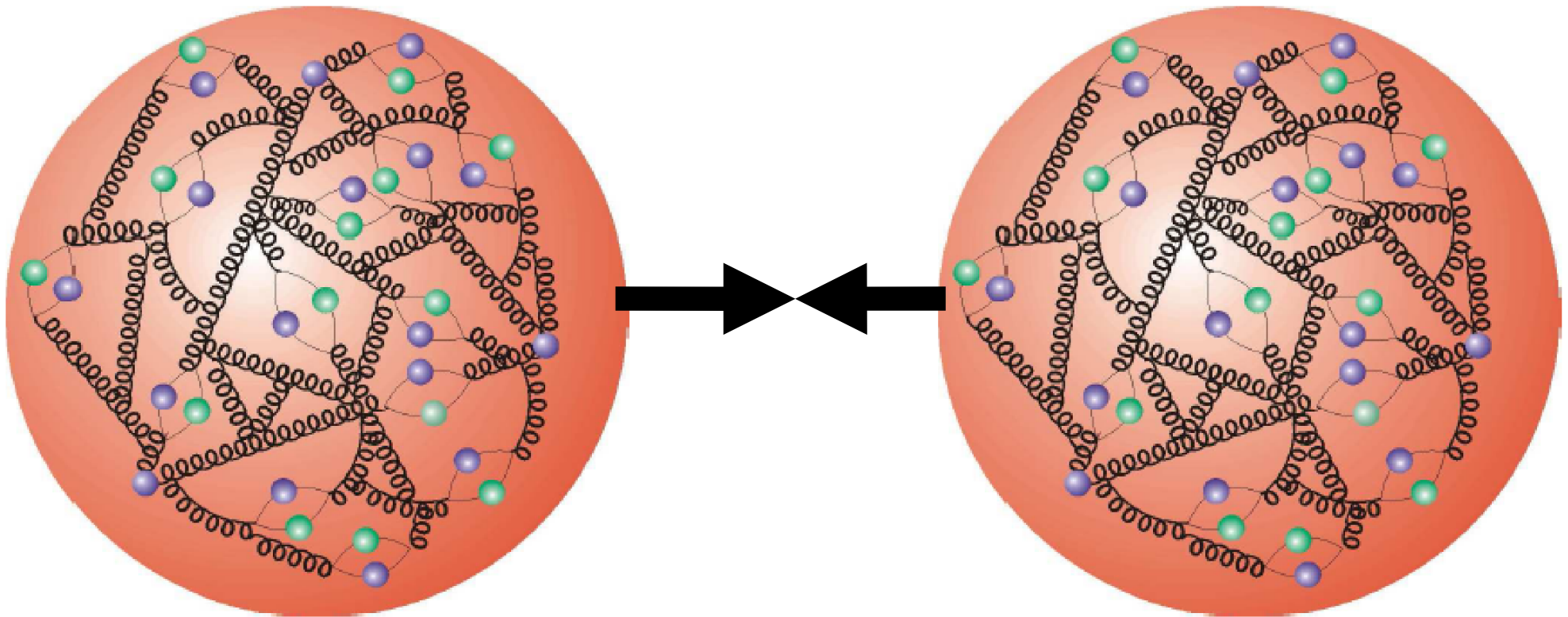
Lata 70-te, teoria oddziaływań silnych (QCD)

- W nukleonie nie ma tylko 3 kwarków: są dodatkowe **kwarki** (tzw. **morza**) oraz **gluony**

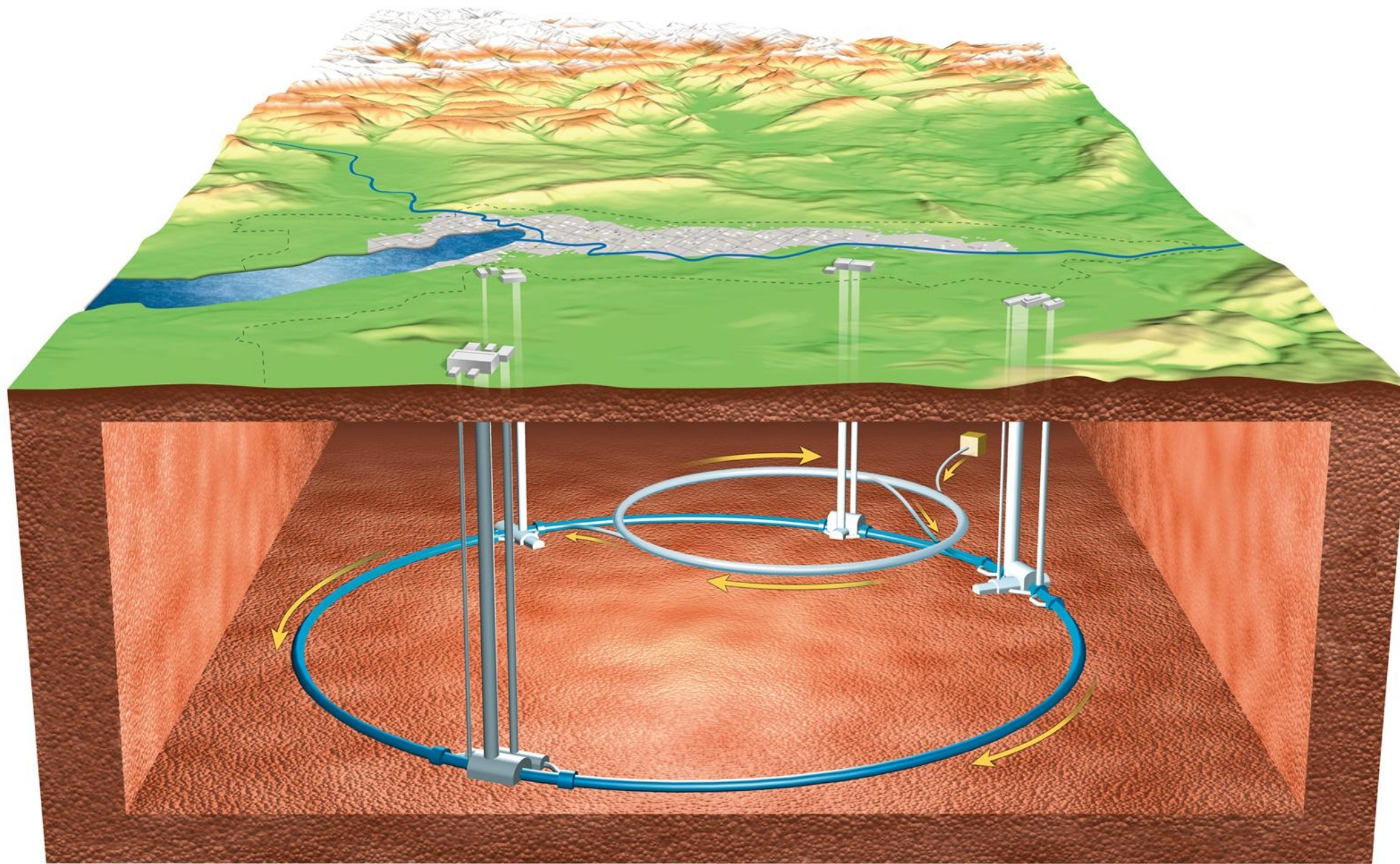


Wniosek: nie ma idealnej próżni,
powstają i znikają tzw. **cząstki wirtualne**

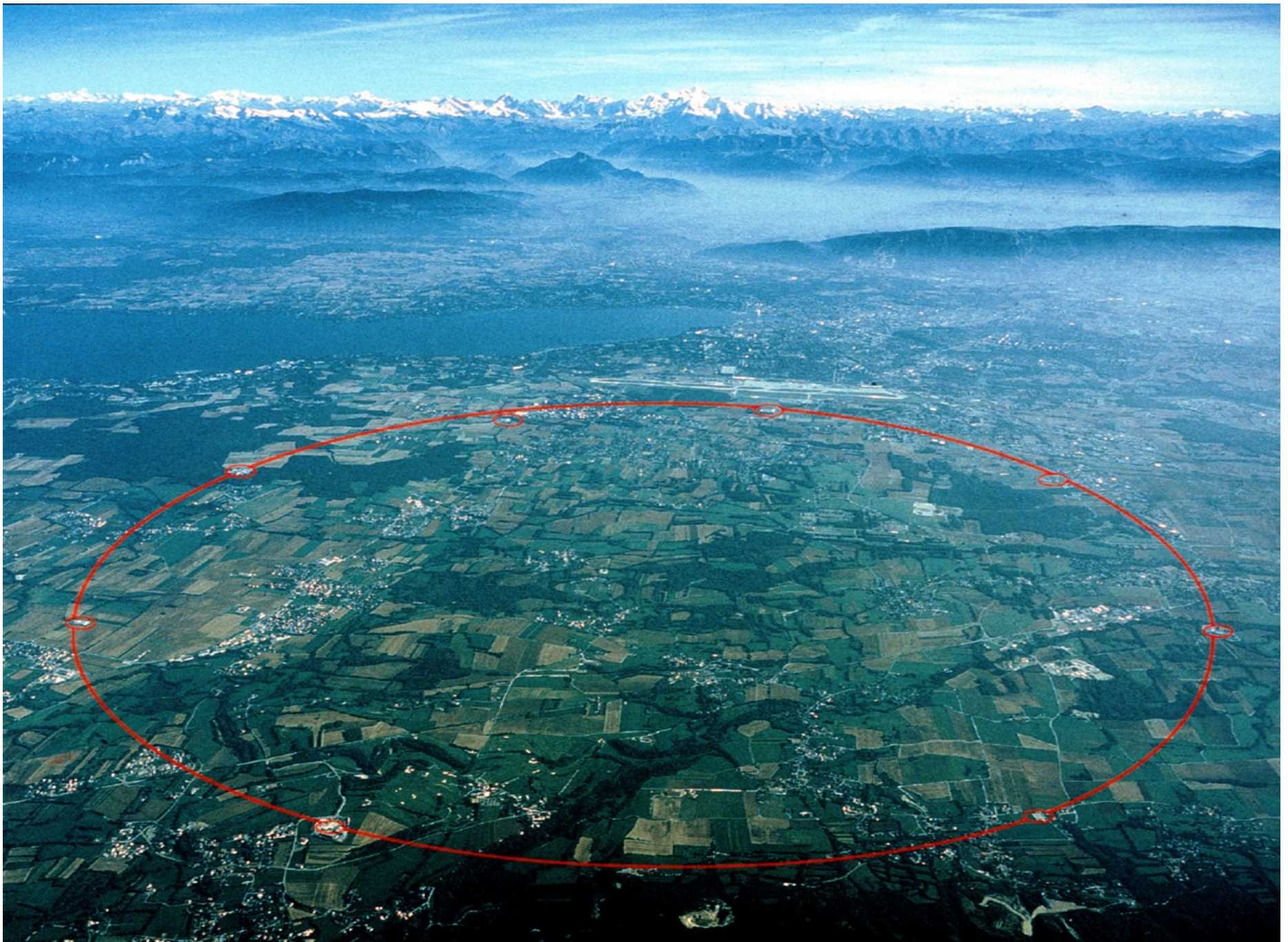
***Wyobraźmy sobie jak skomplikowane
jest zderzenie takich obiektów:
LargeHadronCollider***



Akceleratorzy czyli ...



Akceleratory czyli ...



Akceleratorzy czyli ...

Protony osiągną **99.99999991%** prędkości światła, w ciągu sekundy tunel o długości 27 km obiegają 11245razy. Na księżycu ciśnienie atmosferyczne jest 10 razy większe (wewnątrz rur akceleratorycznych ciśnienie wynosi 10^{-13} atm, objętość 6500 m³).

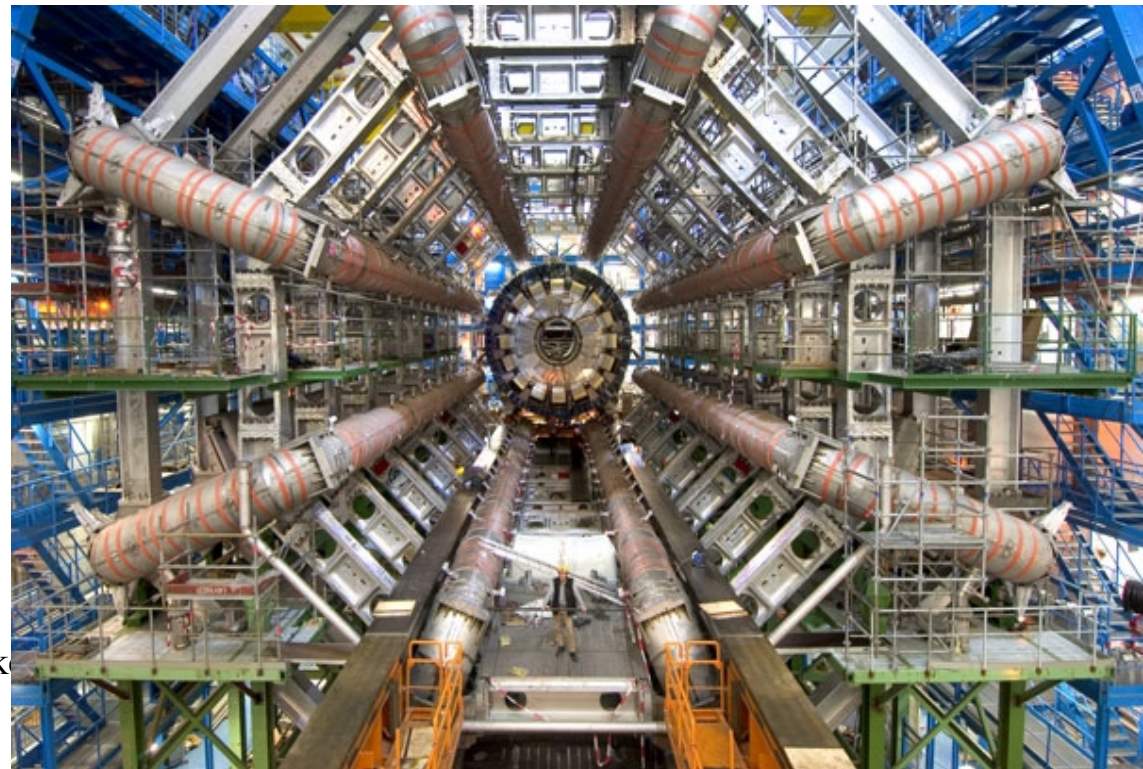


Dwie wiązki protonów (cieńsze od włosa) są przyspieszane do energii 14 TeV, co odpowiada temperaturze ponad 10 miliardów razy większej niż panuje wewnątrz słońca

W każdej wiązce protonów – jest **2808** pęków.

W każdym pęku jest **$1.15 \cdot 10^{11}$** protonów.

Pęki obiegają cały pierścień **11245** razy na sekundę, około **600 milionów** zderzeń na sekundę



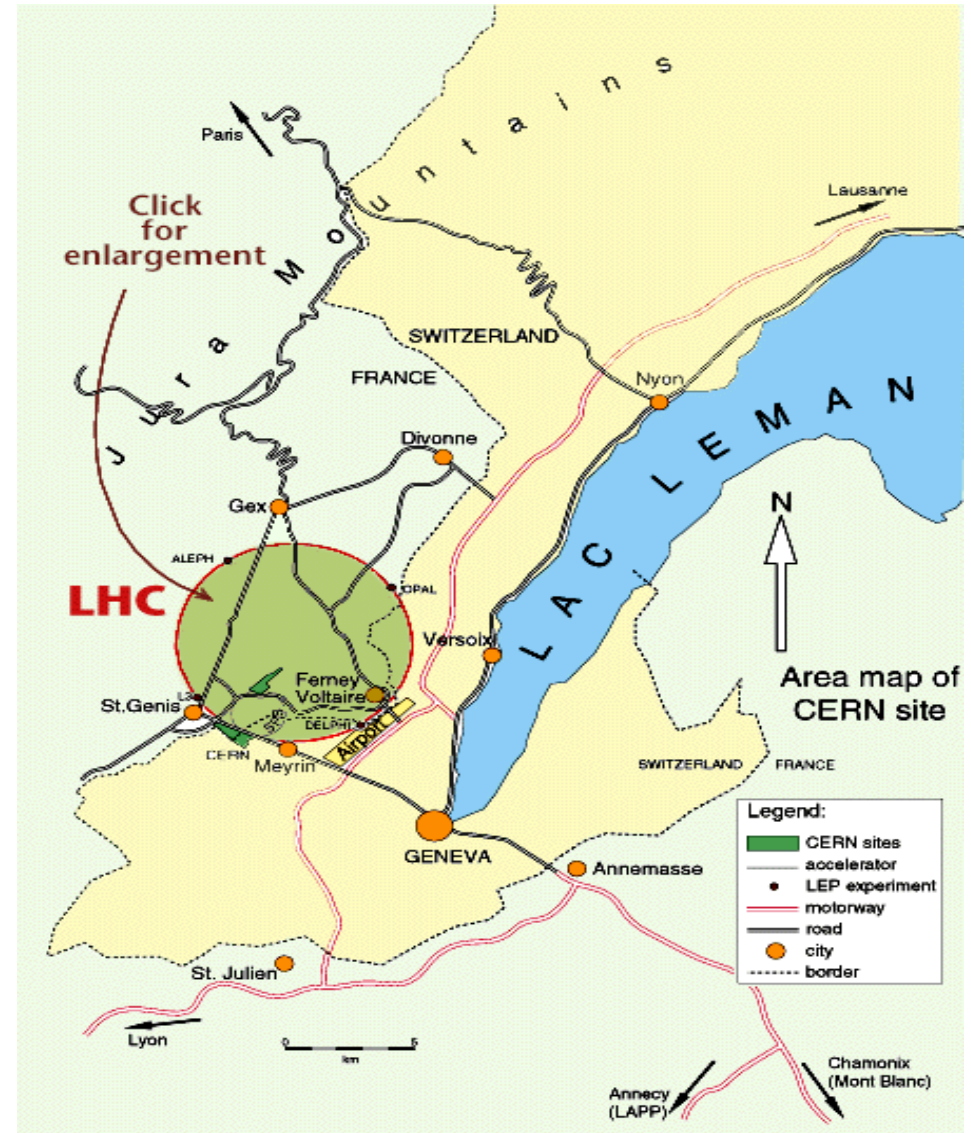
Ak

- Całkowita energia w jednej wiązce wynosi 360 MJ (odpowiada energii kinetycznej średniej wielkości samolotu)
- Jednakże: energia dwóch zderzających się protonów odpowiada energii dwóch zderzających się komarów!
do tego jeszcze wrócę (czarne dziury) lub zapytajcie później

Położenie geograficzne też ważne dla takich maszyn: LEP

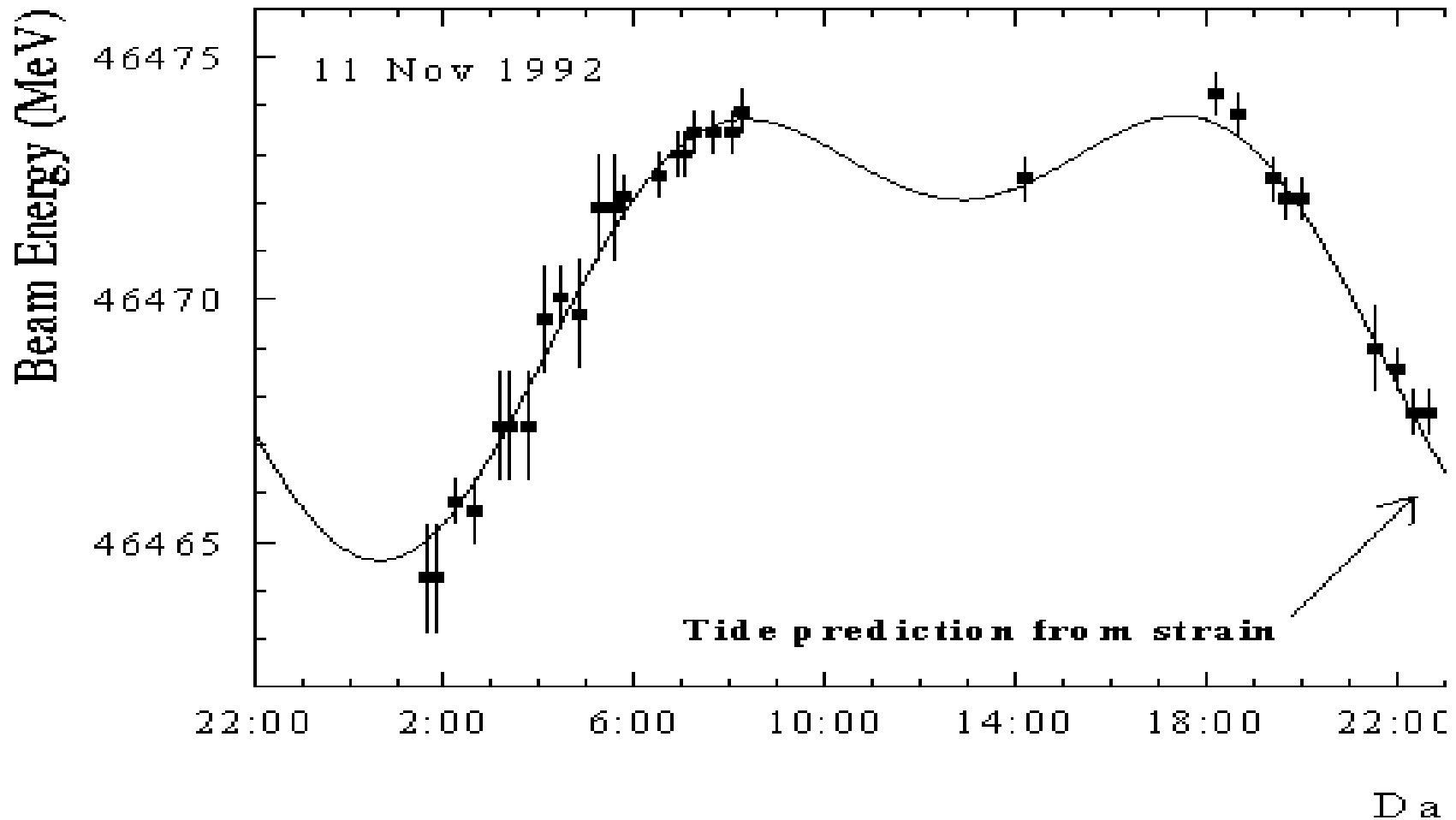


- Obiekty punktowe
- $E = 100\text{-}200 \text{ GeV}$



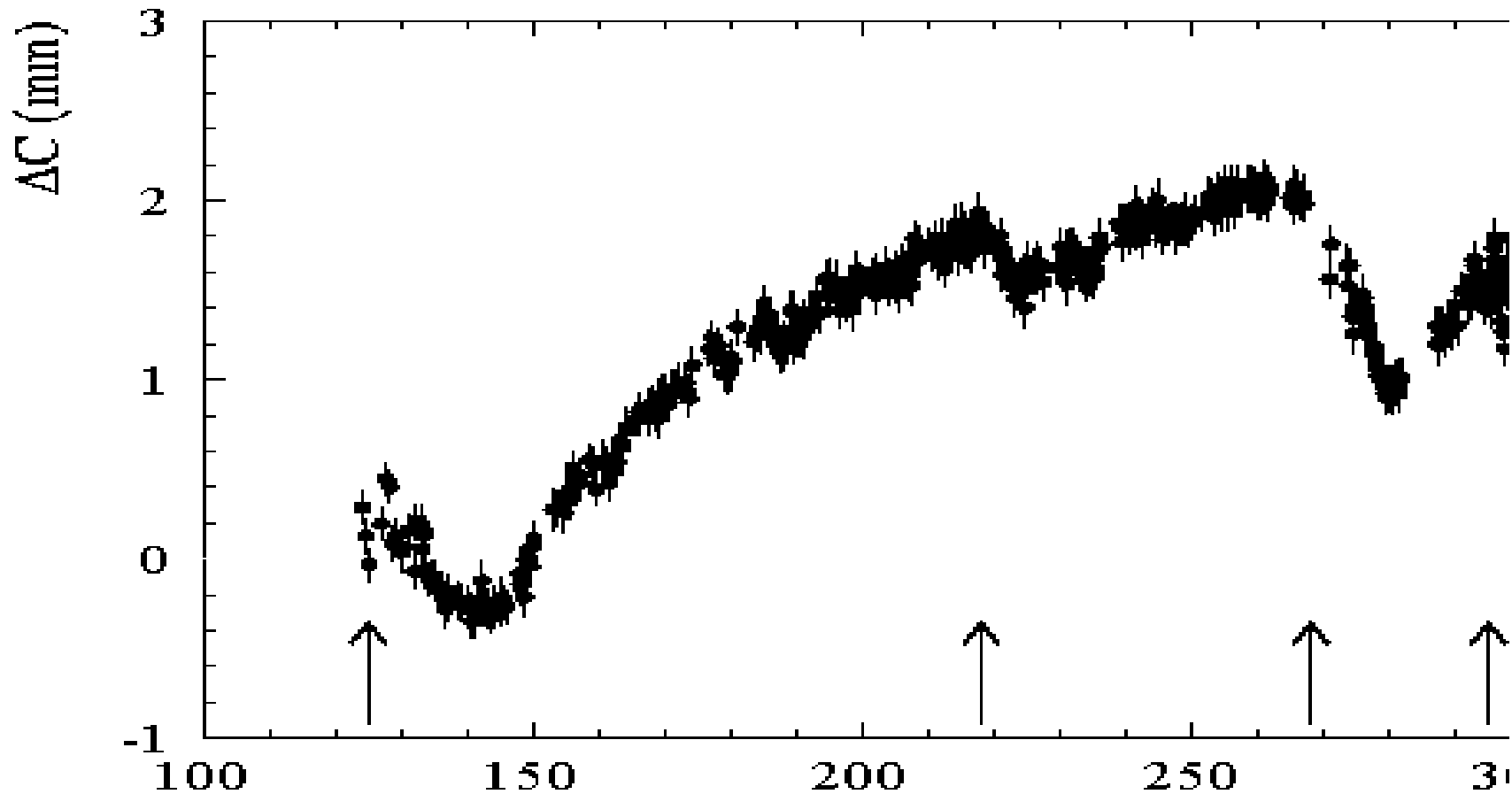
Akceleratory czyli ...

LEP: 1. wpływ księżyca



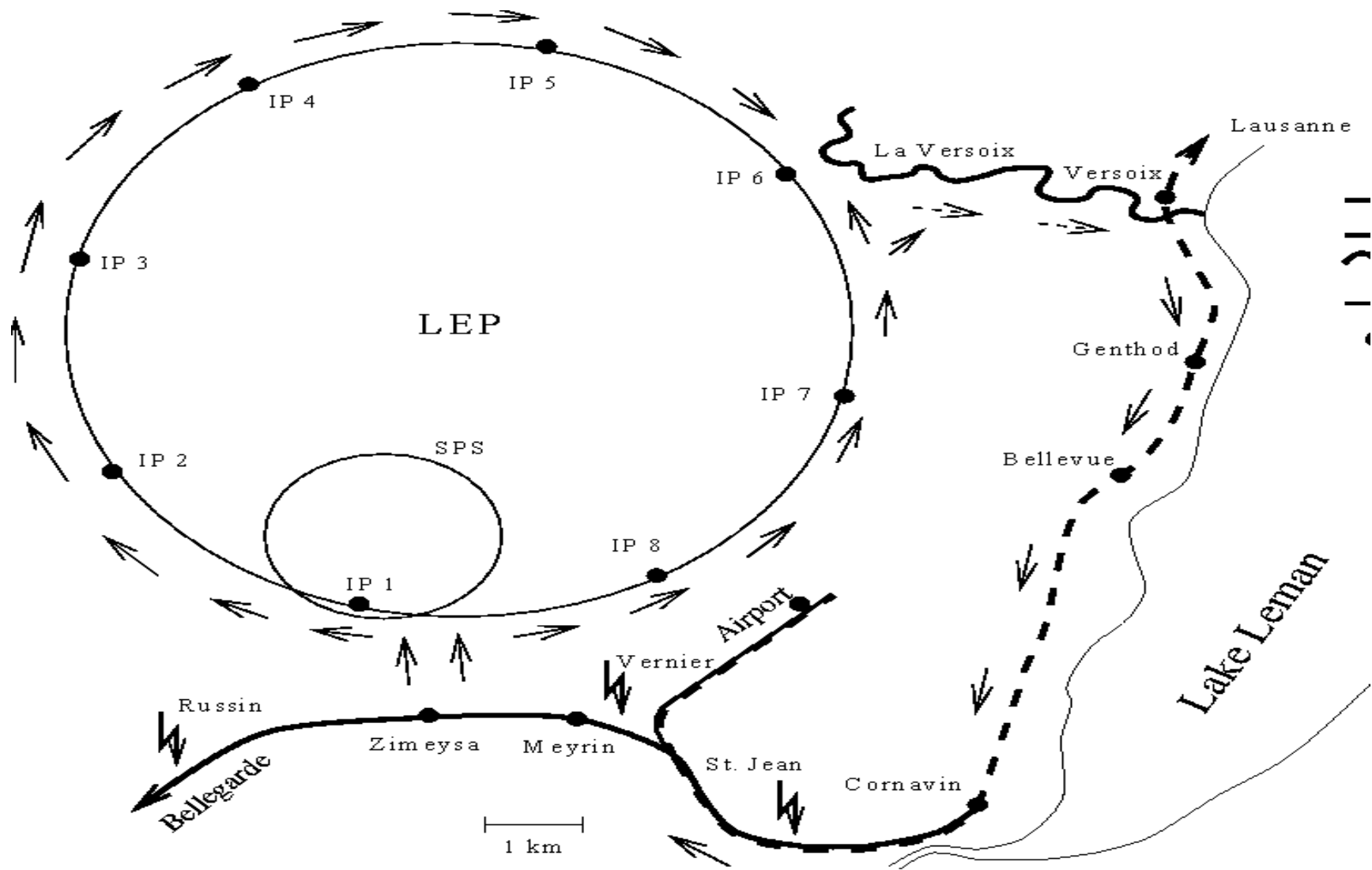
Akceleratory czyli ...

LEP, 2: opady deszczu



Akceleratorzy czyli ...

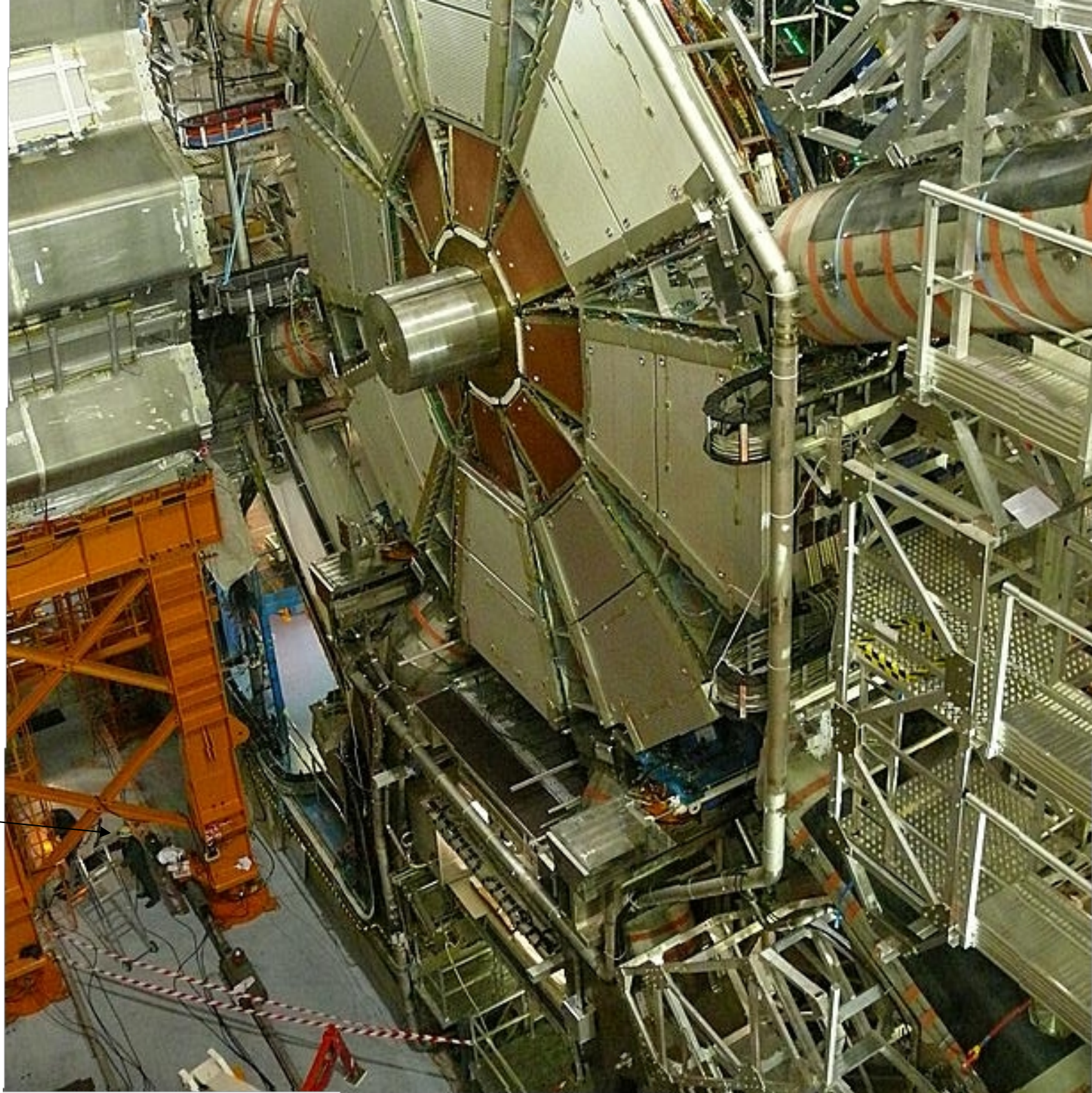
LEP, 3:TGV indukuje prąd



Akceleratory czyli ...

Wniosek

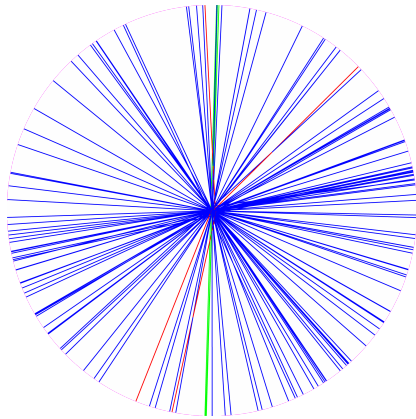
- Ogromne, ale bardzo precyzyjne i delikatne urządzenie
- LEP dał fantastyczne rezultaty (backup)



człowiek

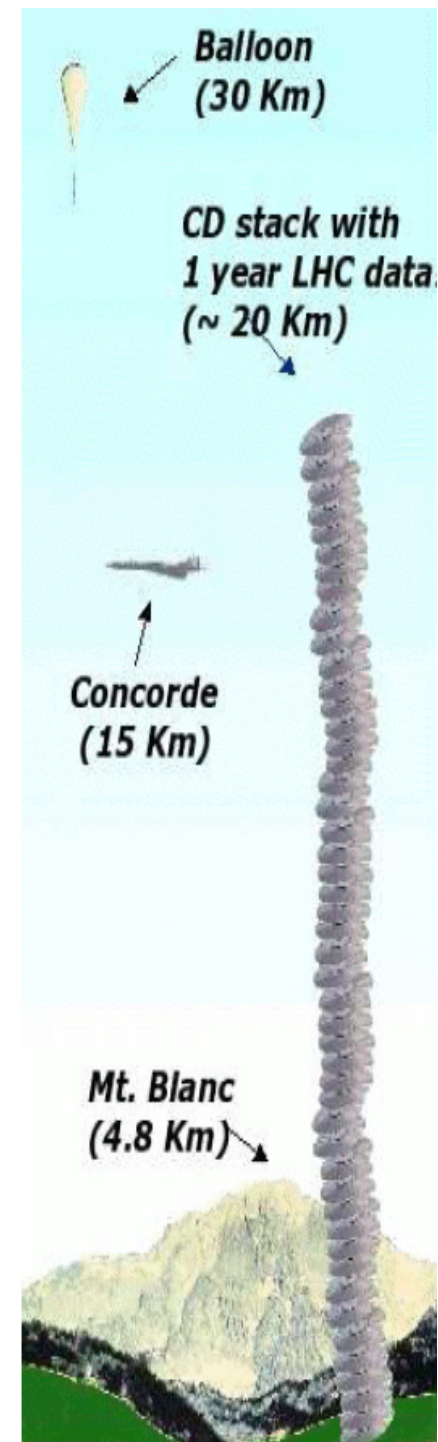


Każde z 600 milionów zderzeń na sekundę wygląda mniej więcej taktak:

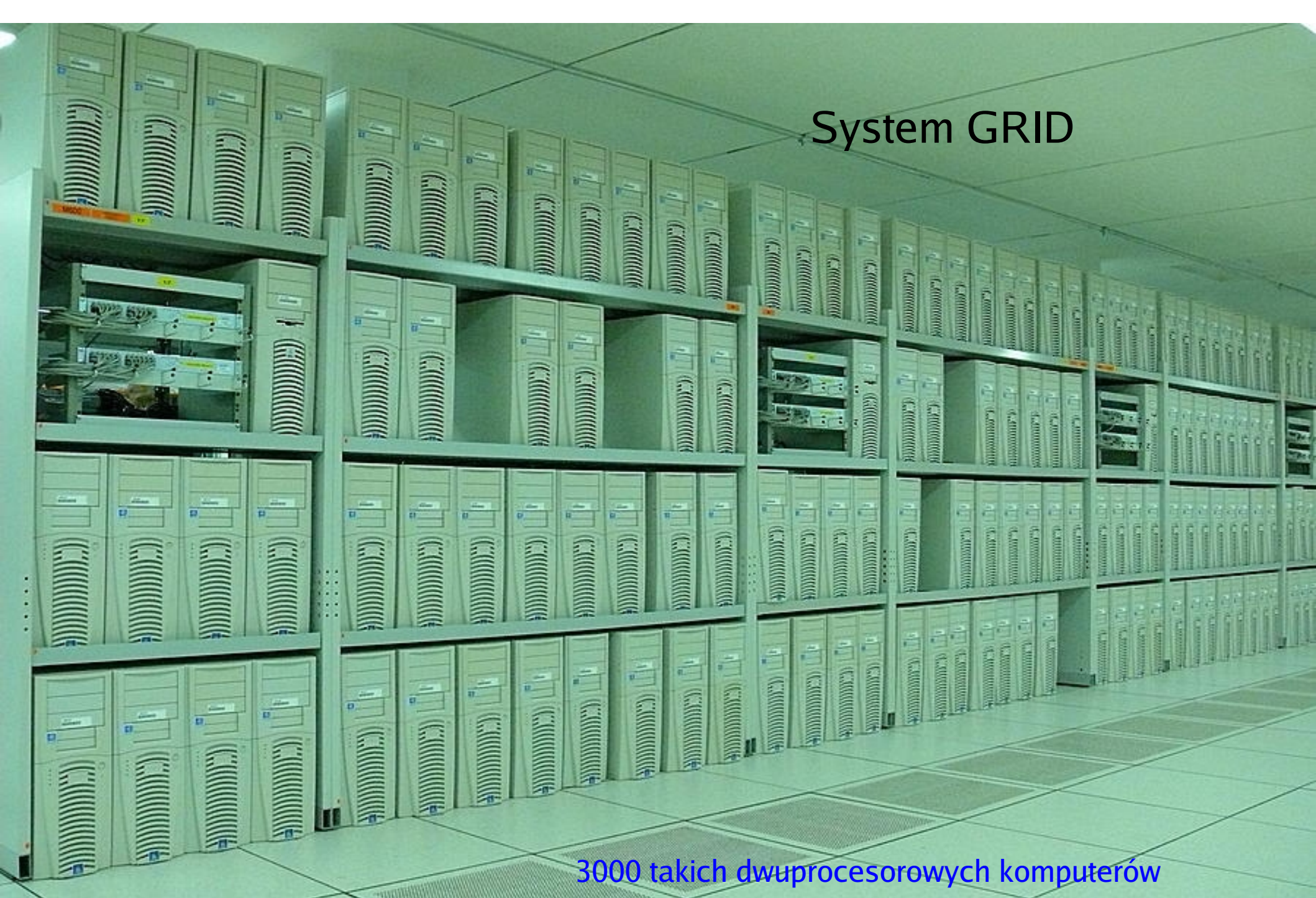


Dane eksperymentalne produkowane w ciągu roku przez każdy eksperyment zajmą 100 000 DVD.

Akceleratorzy czyli ...



System GRID

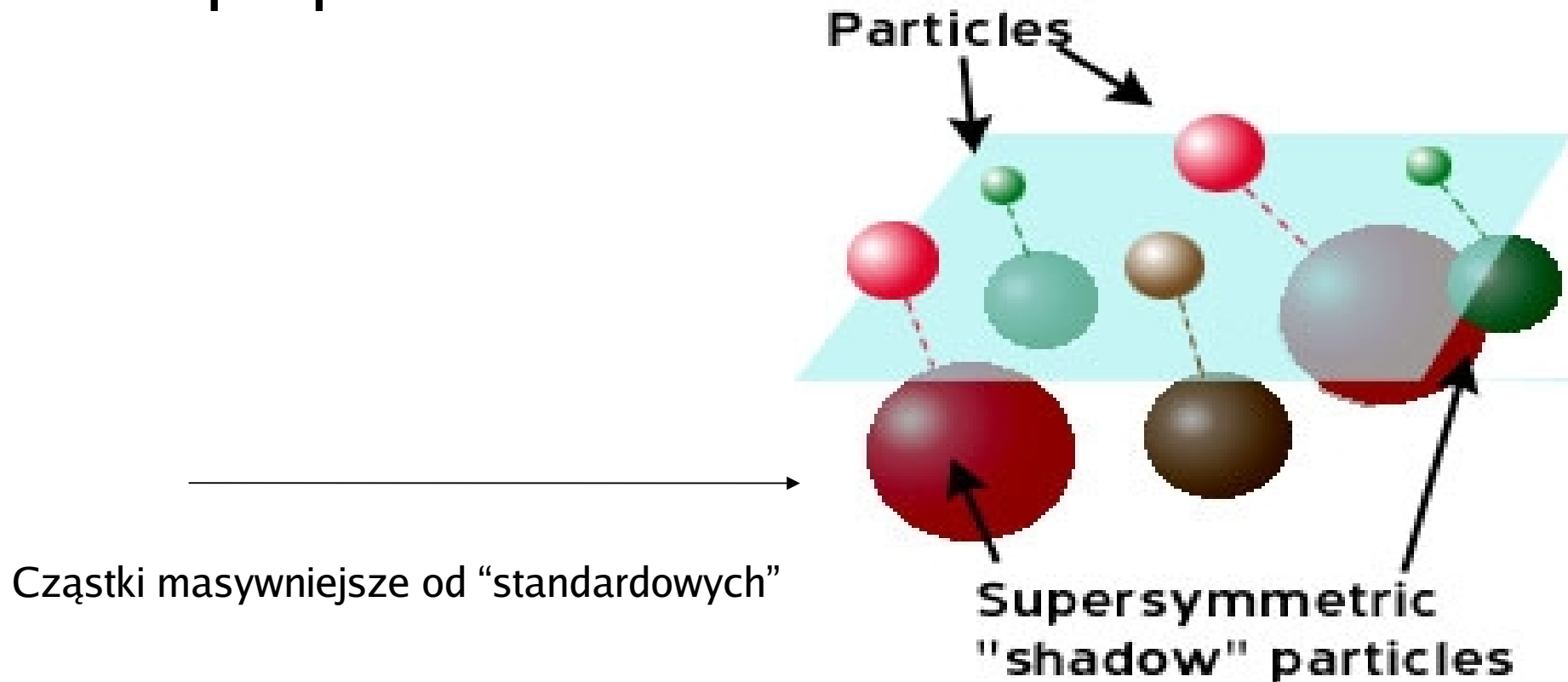


3000 takich dwuprocessorowych komputerów

Akceleratorzy czyli ...

Co chcemy badać?

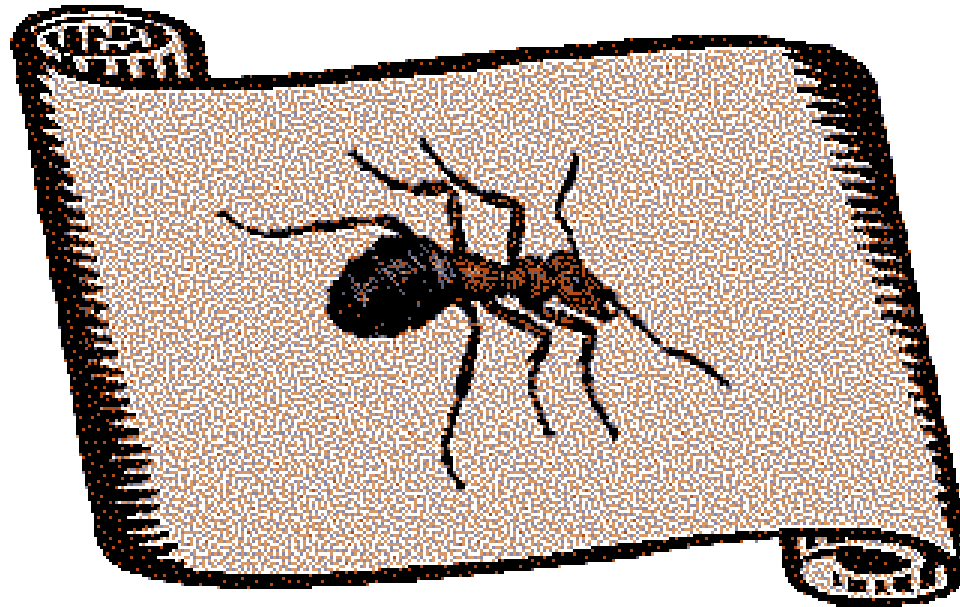
- Każda znana cząstka, ma swojego superpartnera



Akceleratory czyli ...

Dodatkowe wymiary

- Czy jeśli jeszcze głębiej wejdziemy w mikroświat nie okaże się, że „wypączkują“ wokół nas nowe wymiary?

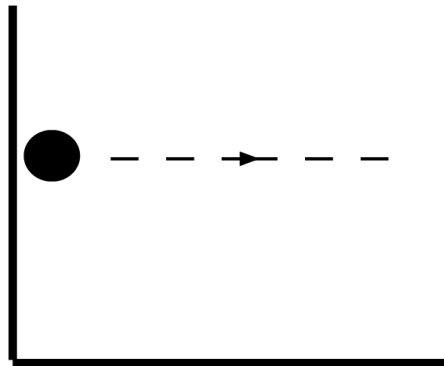


Akceleratorzy czyli ...

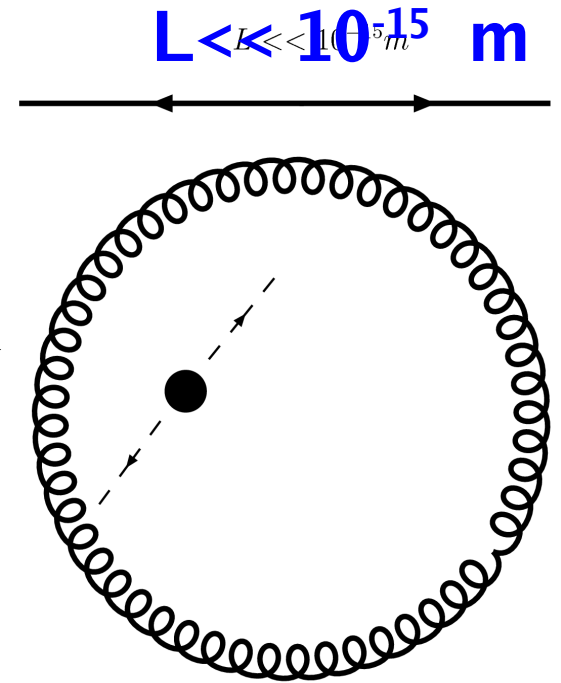


Makro -> mikro

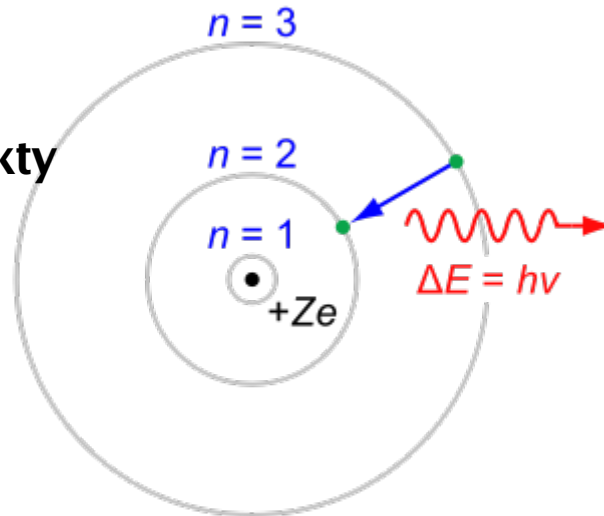
Struny, Fale stojące



Mikro ->



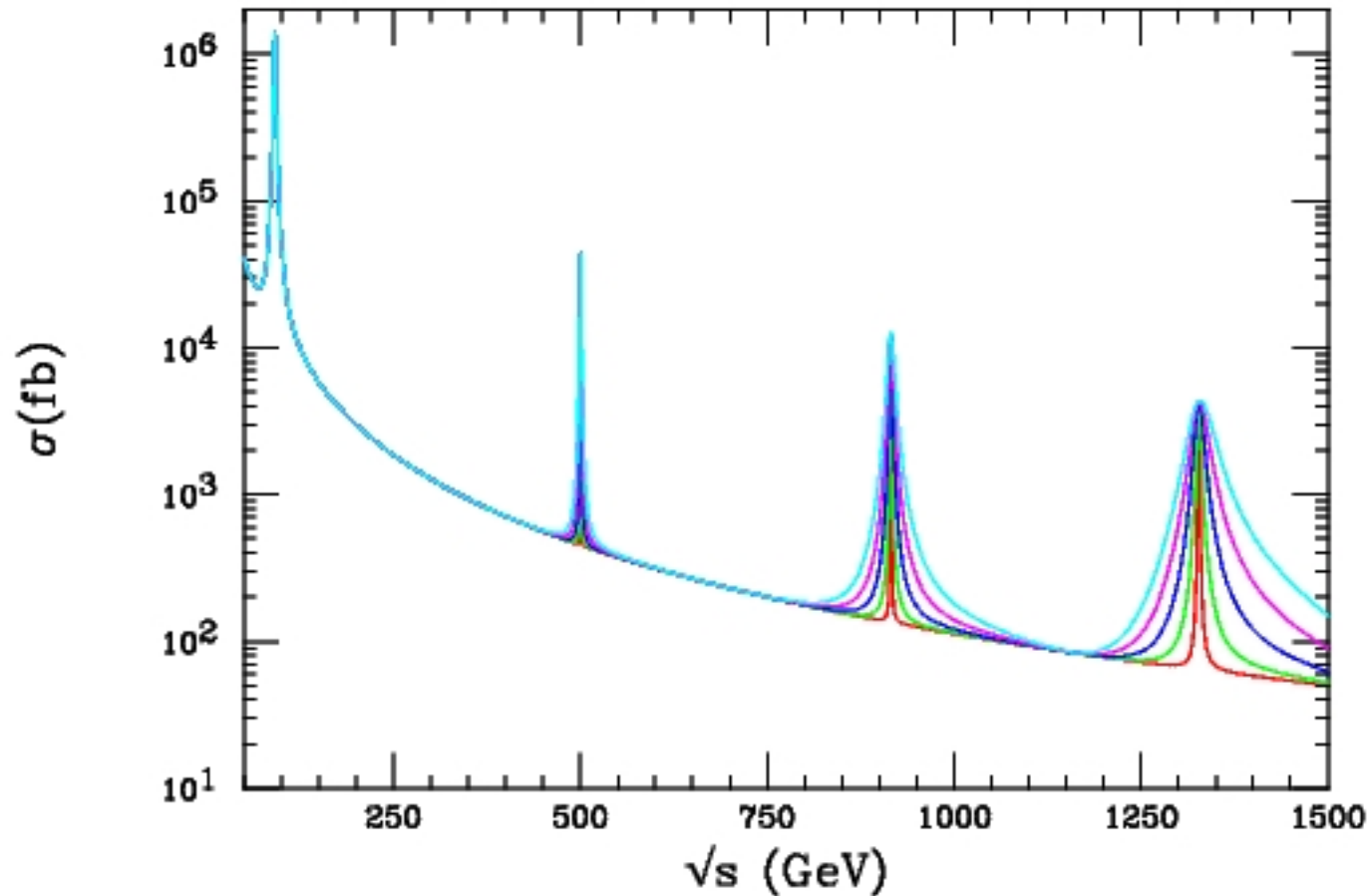
Mechanika kwantowa:
w ograniczonej przestrzeni obiekty
mają dyskretne energie



W jeszcze mniejszej
przestrzeni:
stany rezonansowe,
obiekty o różnych masach

Akceleratory czyli ...

KK wieża mas w akceleratorze mionowym (podobnie w LHC)



Akceleratory czyli ...

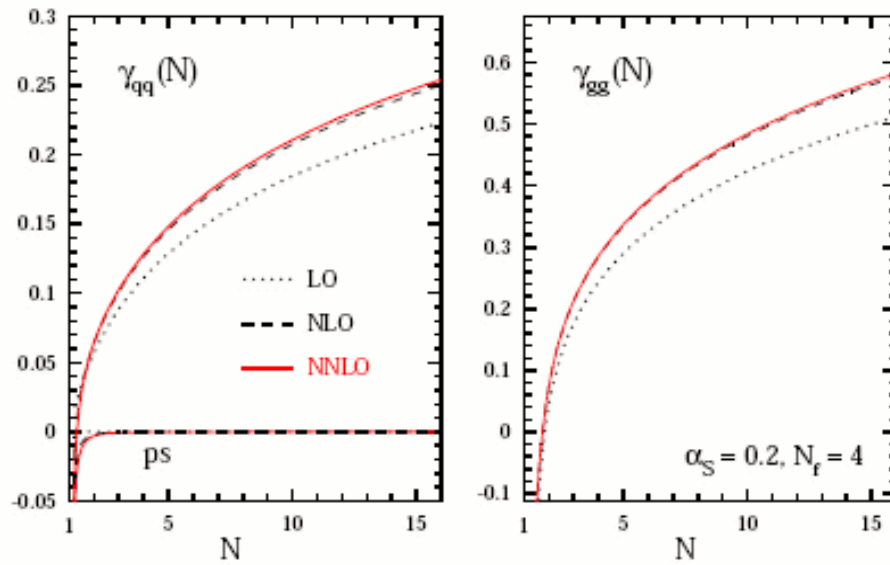


Figure 1: The perturbative expansion of the diagonal anomalous dimensions $\gamma_{qq}(N)$ and $\gamma_{gg}(N)$ for four flavours at $\alpha_s = 0.2$. The pure-singlet (ps) contribution to γ_{qq} is shown separately.

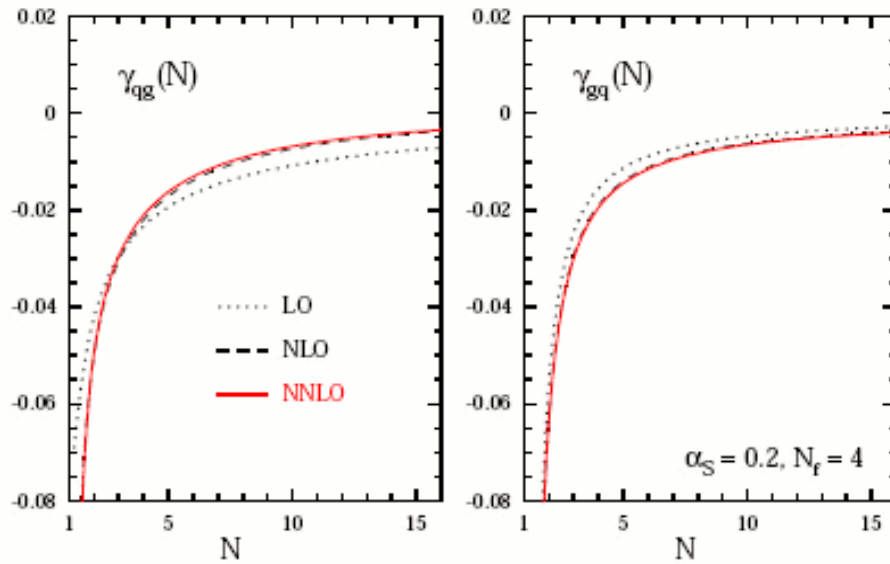
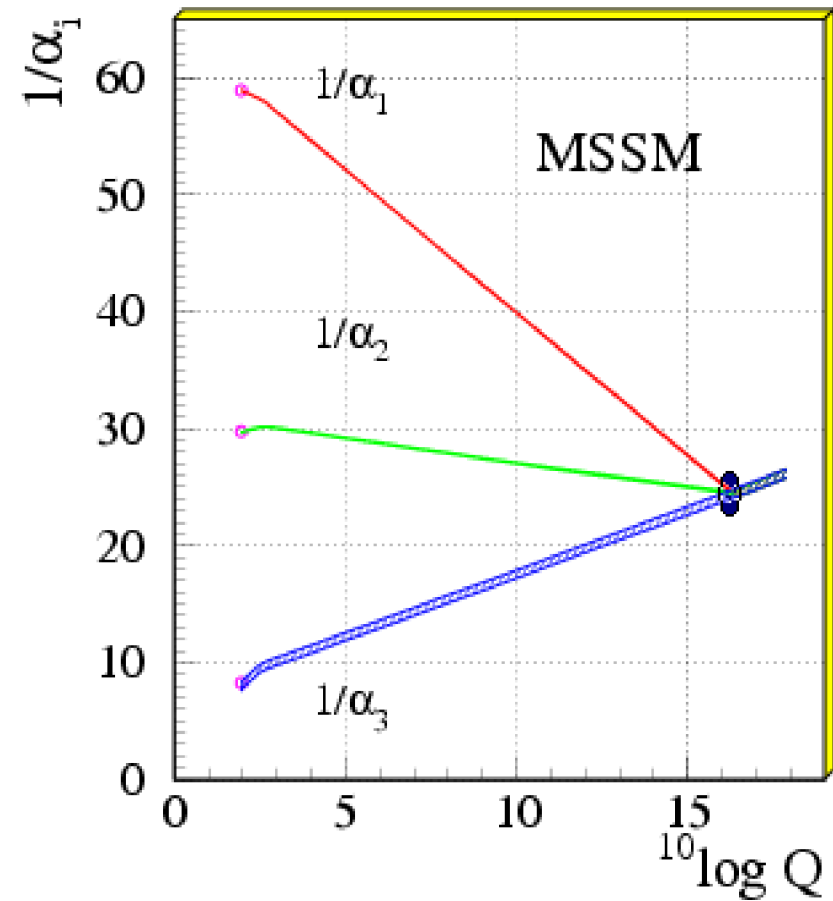
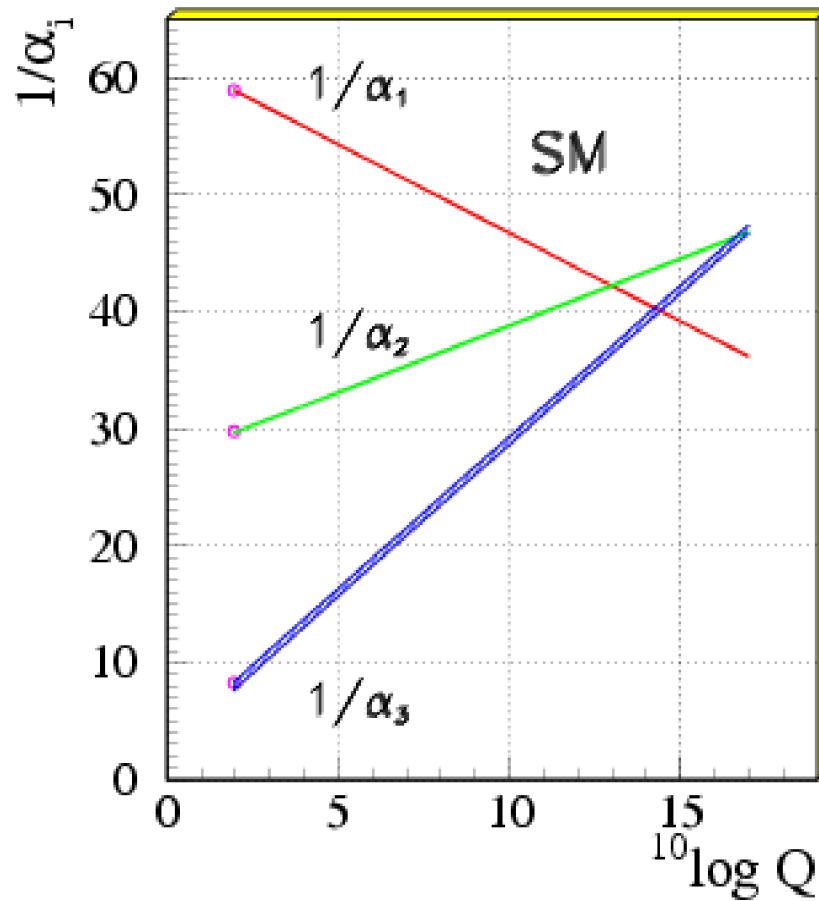


Figure 2: As Fig. 1, but for the off-diagonal anomalous dimensions $\gamma_{qg}(N)$ and $\gamma_{gq}(N)$.

Akceleratorzy czyli ...

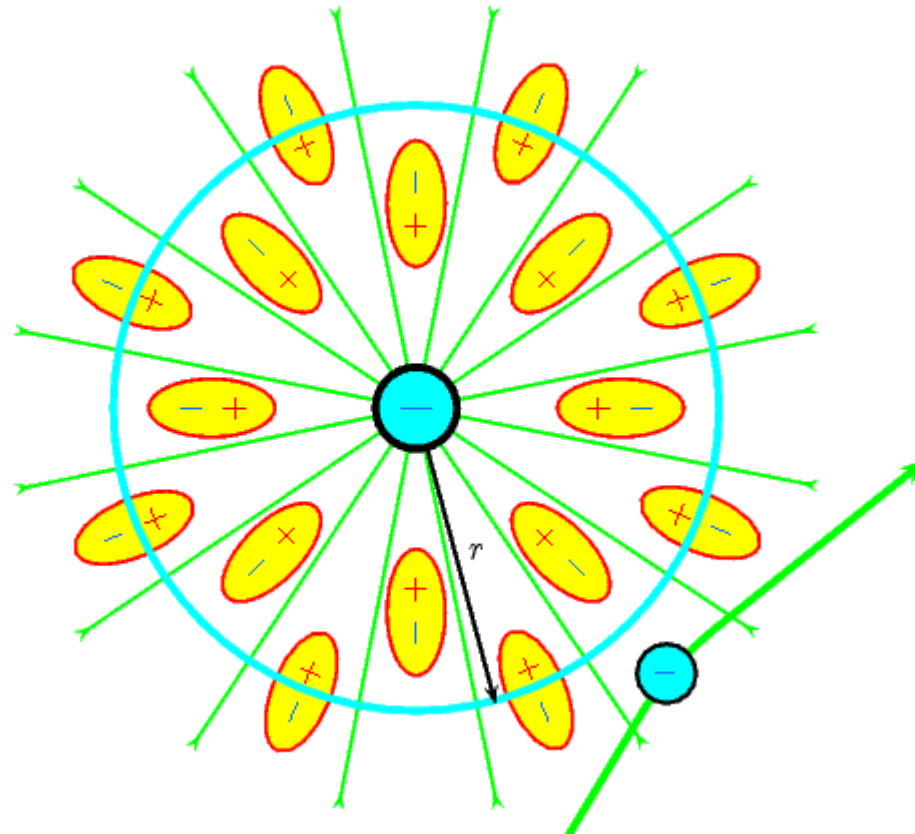
$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \equiv \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

Dzięki takim obliczeniom można między innymi testować teorię wielkiej unifikacji



Akceleratory czyli ...

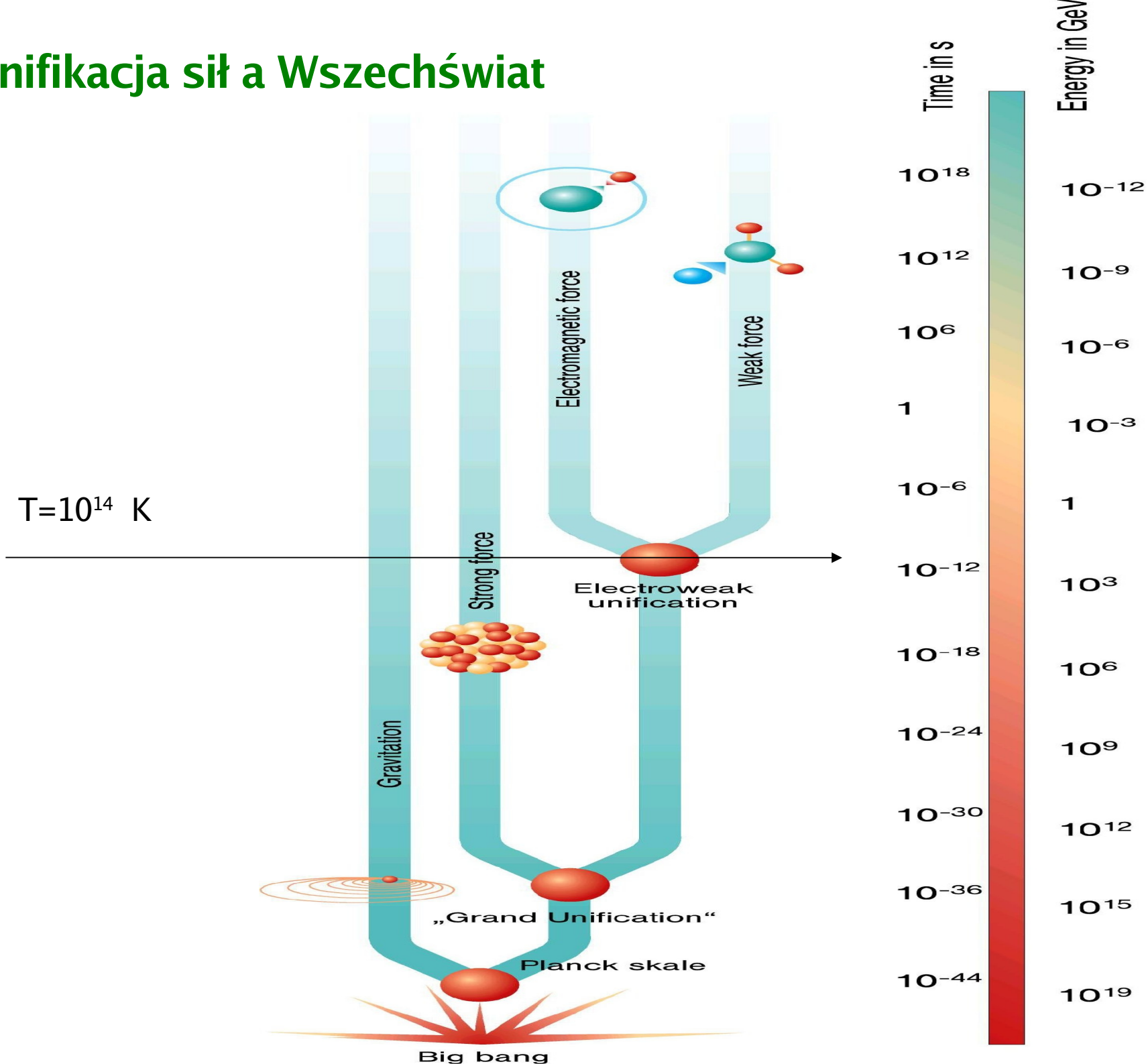
Ekranowanie ładunku w QED



Przy energii zderzenia E , efektywny ładunek oddziaływania zawarty jest w sferze o promieniu $r=1/E$, ze względu na polaryzację próżni jest on większy niż widziany z odległości $R \gg r$.

Akceleratory czyli ...

Unifikacja sił a Wszechświat



podsumowanie

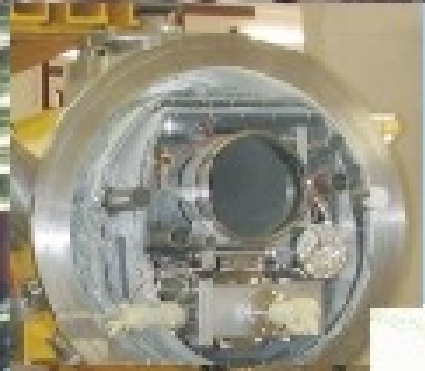
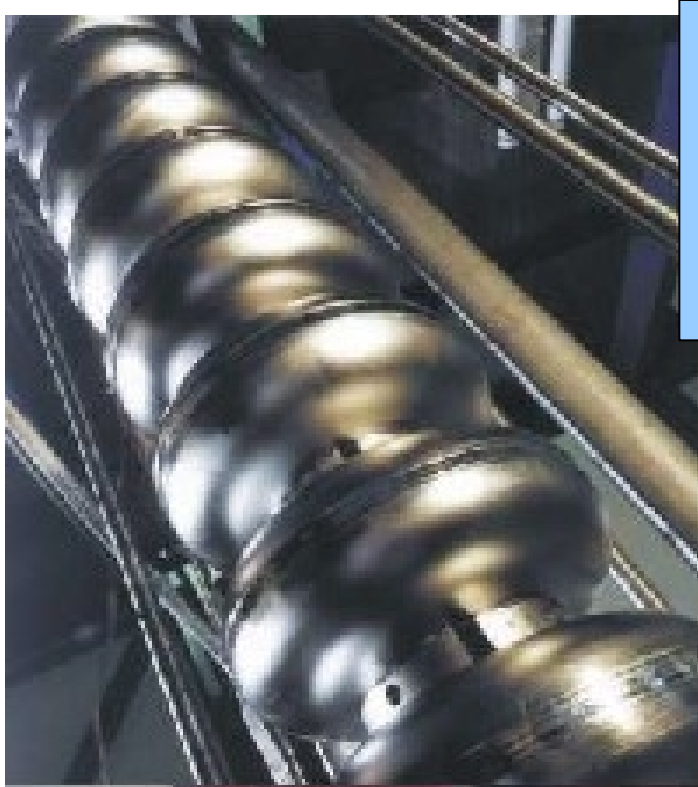
- Akceleratorzy dają możliwość rozwoju nowych technologii
- Akceleratorzy są podstawą weryfikacji trudnych teorii oddziaływań cząstek w mikroświecie

Stan: 2000 rok, źródło: U. Amaldi

- Implantacja jonami, modyfikacja powierzchni (7000)
- Akceleratory w przemyśle (1500)
- Akceleratory w badaniach poza fizyka jądrową (1000)
- Radioterapia (5000)
- Produkcja medycznych izotopów (200)
- Terapia hadronowa (20)
- Źródła promieniowania synchrotronowego (70)
- Badania w fizyce jądrowej i cz. Elementarnych (110)
- Razem: **15000**

- **BACKUP SLIDES**

ILC

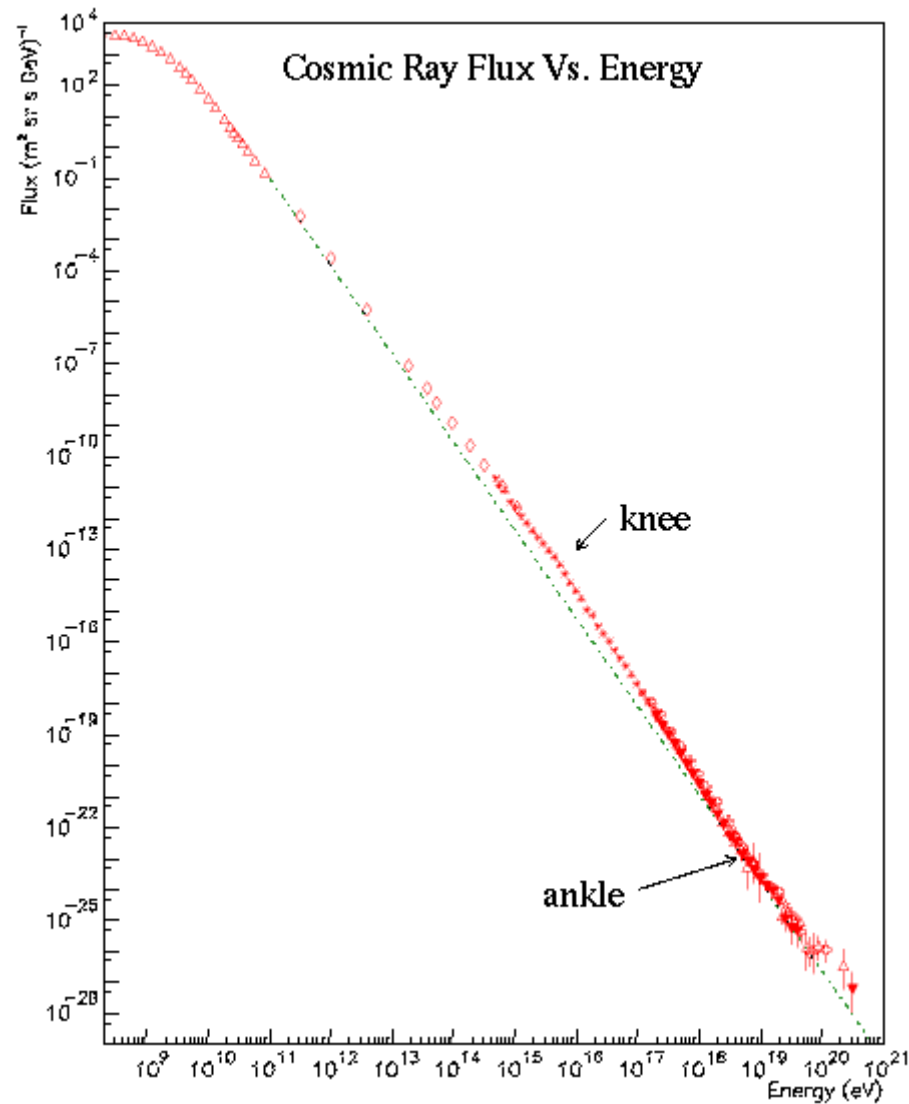


Produkcja czarnych dziur w LHC

- W skali Plancka (nowej!) rzędu TeV grawitacja może wiązać obiekty, mogą też powstawać czarne dziury
- LHC, $m(\text{BH}) > 5 \text{ TeV}$ (tzw. Mini czarne dziury), produkcja 1 BH/s ($n > 5$)
- Nieszkodliwe, szybko “parują”, czas życia $< 10^{(-30)} \text{ s}$

W atmosferze energie cząstek nawet 10^{20}
eV

(i nie ma problemu czarnych dziur)



Higgs mechanism



The Waldegrave Higgs Challenge (1993)

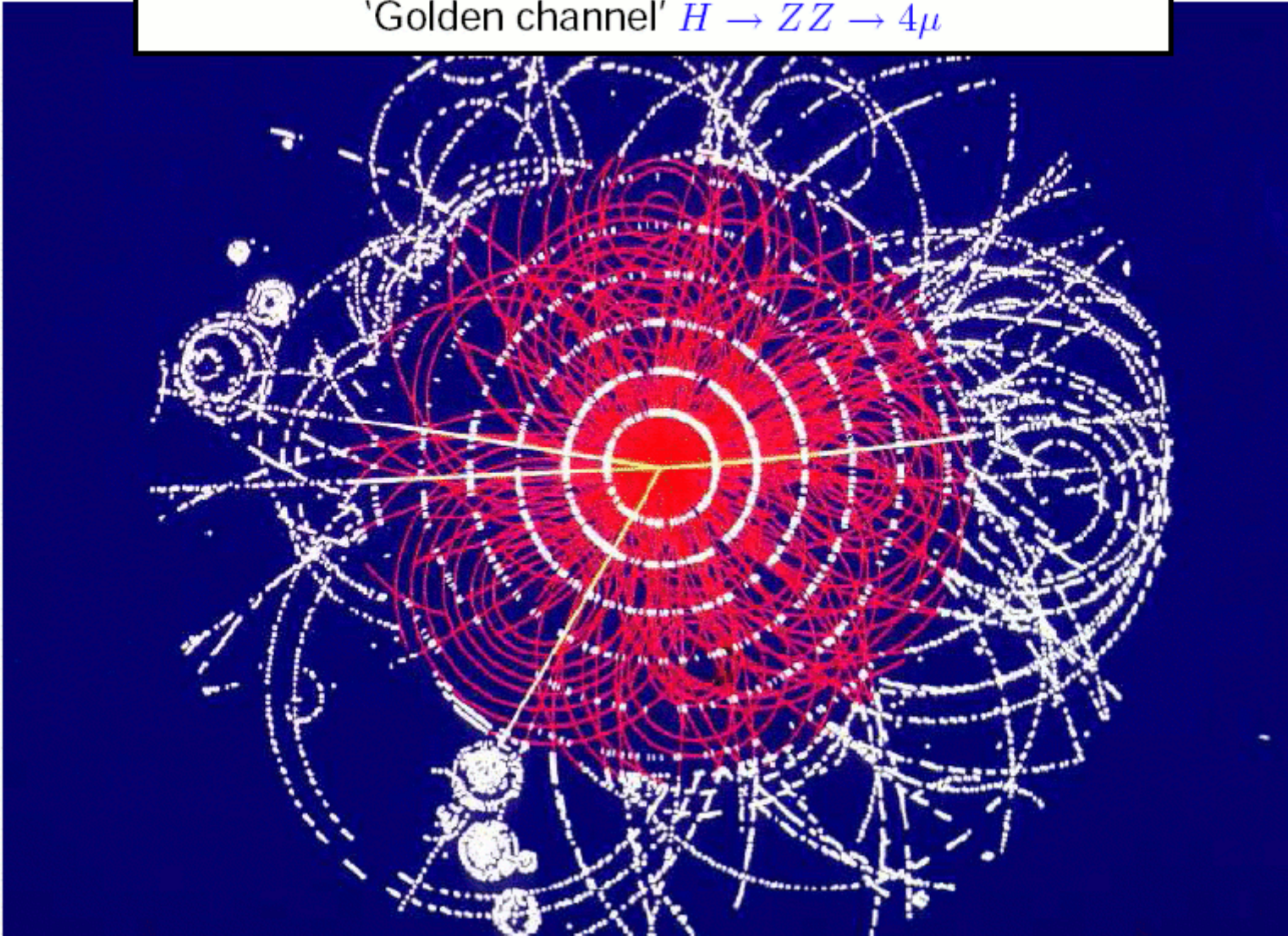
story: [David Miller](#)

cartoons: [Georges Boixader](#)

Akcelatory czyli ...

Higgs search

'Golden channel' $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4\mu$



Akceleratory czyli ...