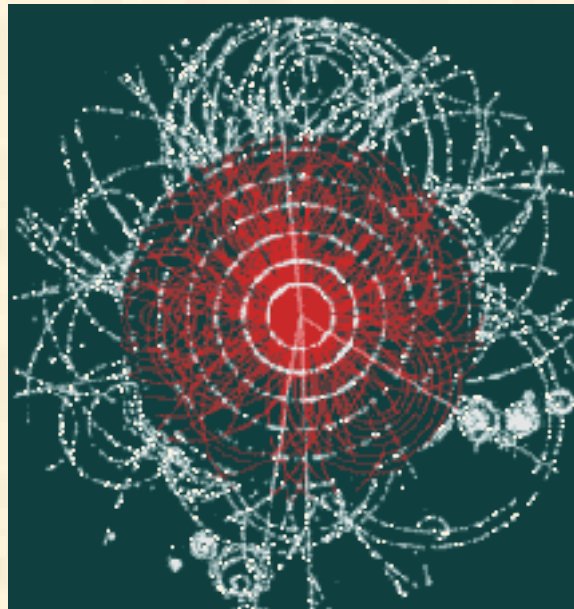


# Odkrywanie nowej cząstki elementarnej



**Grzegorz Brona**

Zakład Cząstek i Oddziaływań Fundamentalnych,  
Uniwersytet Warszawski

25.09.2005 – IX Festiwal Nauki

# Wszystkie obiekty charakteryzujemy odnosząc się do ich cech...



- Czerwony
- Prędkość maksymalna: 180 km/h
- Brak skrzydeł



- Zielony
- Prędkość maksymalna: 680 km/h
- Posiada skrzydła

# Czym różnią się od siebie cząstki elementarne?

Ładunkiem

*oraz*

Masą

- dodatni,  $1,67 \cdot 10^{-27}$  kg → **proton**
- ujemny,  $9,11 \cdot 10^{-31}$  kg → **elektron**
- brak,  $1,67 \cdot 10^{-27}$  kg → **neutron**

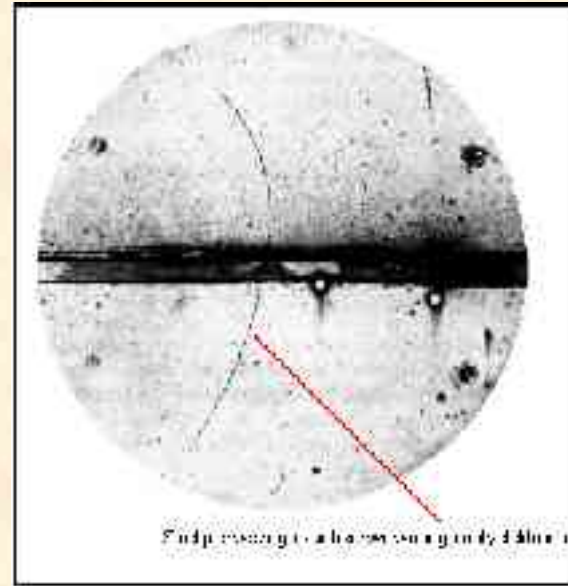
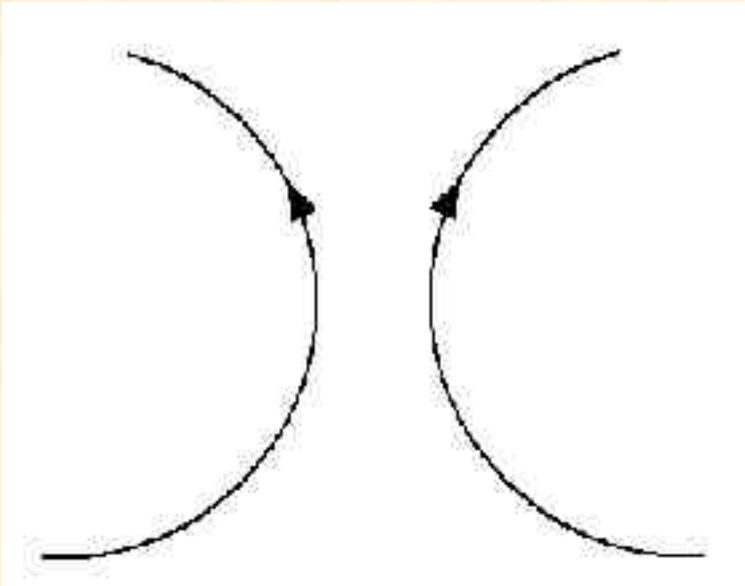
Oraz mnóstwem innych mniej istotnych cech:  
spin, liczby leptonowe, liczby barionowe, dziwność,  
powab, piękno itd. itp. → pomijamy w rozważaniach

# Jak zmierzyć ładunek?

Jeśli cząstka przemieszcza się z prędkością  $\mathbf{v}$  w polu magnetycznym o indukcji  $\mathbf{B}$  i przemieszczenie to jest prostopadłe do linii pola to na cząstkę działa siła:

$$F_{mag} = qvB$$

← ładunek



# Jak zmierzyć masę?

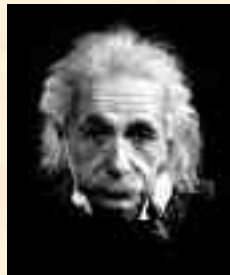
Aby zmierzyć masę musimy zmierzyć **energię** oraz **pęd** cząstki.

Wzory z gimnazjum

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \longrightarrow m = \frac{p^2}{2E_k}$$

$p = mv$

W ogólnym (relatywistycznym) przypadku, wzory są inne, ale zasada jest ta sama

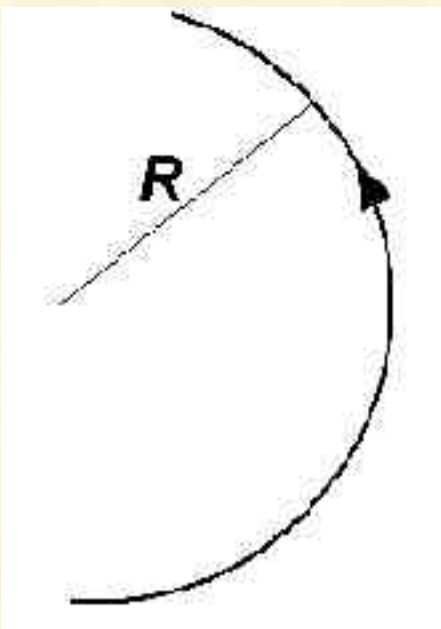


$$m = \sqrt{E^2 - p^2}$$

# No ale jak zmierzyć pęd?

Użyjmy jeszcze raz pola magnetycznego i wiedzy z gimnazjum:

$$F_{mag} = qvB \quad + \quad F_{doś} = \frac{mv^2}{R} \quad \longrightarrow \quad p = qBR$$



$B$  znamy – parametr magnesu  
 $R$  – mierzymy w doświadczeniu  
 $q$  – +1 lub -1

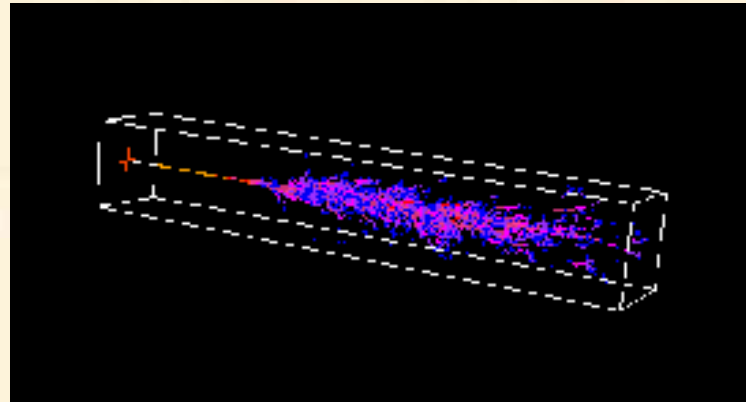
Zmierzyliśmy więc **pęd !!!**

# No a co z energią?

Kilka metod pomiaru:

**promieniowanie Czerenkowa** – naładowana cząstka elementarna poruszająca się w ośrodku szybciej niż wynosi prędkość światła w tym ośrodku emituje specyficzne promieniowanie – jego kierunek zależy od prędkości cząstki, a prędkość zależy od energii (**bingo!**)

**pomiar przy użyciu tzw. kalorymetrów** – naładowana cząstka elementarna poruszająca się w ośrodku oddziałuje z jego atomami produkując wtórne cząstki. Wtórne cząstki przejmują część energii pierwotnej cząstki i mogą ponownie oddziaływać z atomami ośrodka produkując kolejne pokolenie wtórnych cząstek. Rozwija się kaskada, której zasięg i wielkość związana jest z energią pierwotnej cząstki.



# Chwila a co z torem cząstki, jak go zmierzyć?

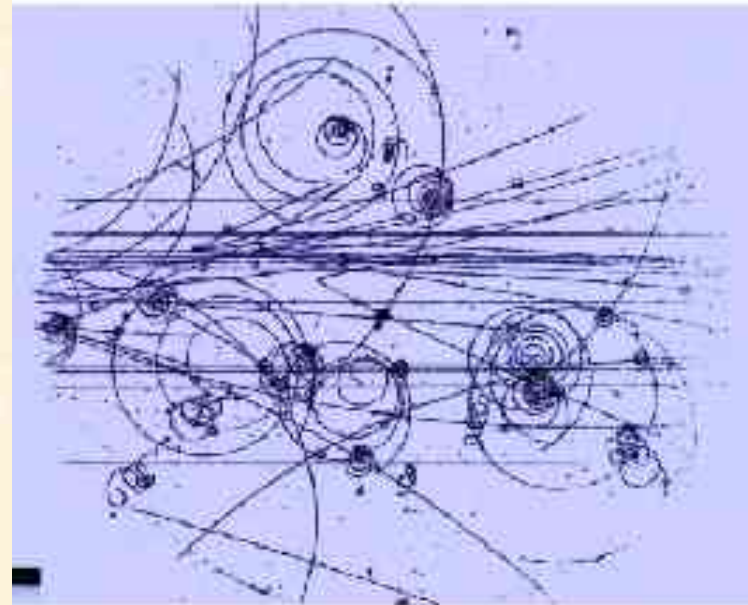
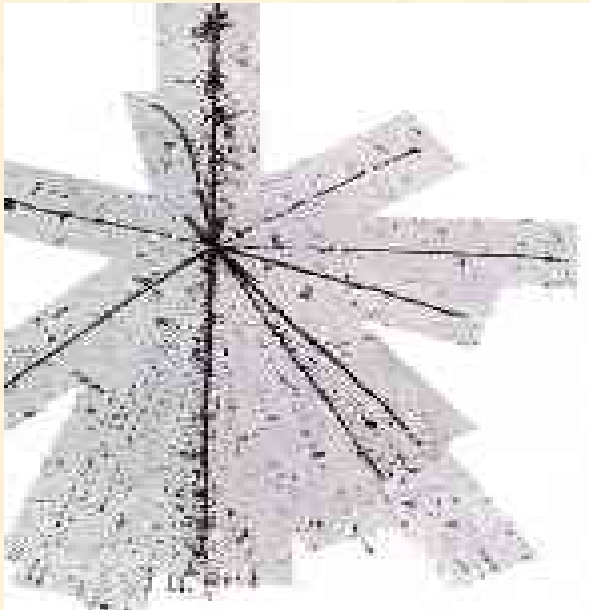
Użyjmy detektorów śladowych:

**emulsja fotograficzna:**

cząstka przechodząca przez emulsję zostawia ślad widoczny po wywołaniu

**komora pęcherzykowa:**

cząstka przechodząca przez przegrzaną ciecz powoduje powstanie pęcherzyków wzdłuż jej toru



# Kolejne detektory śladowe:

## Licznik Geigera-Mueller:

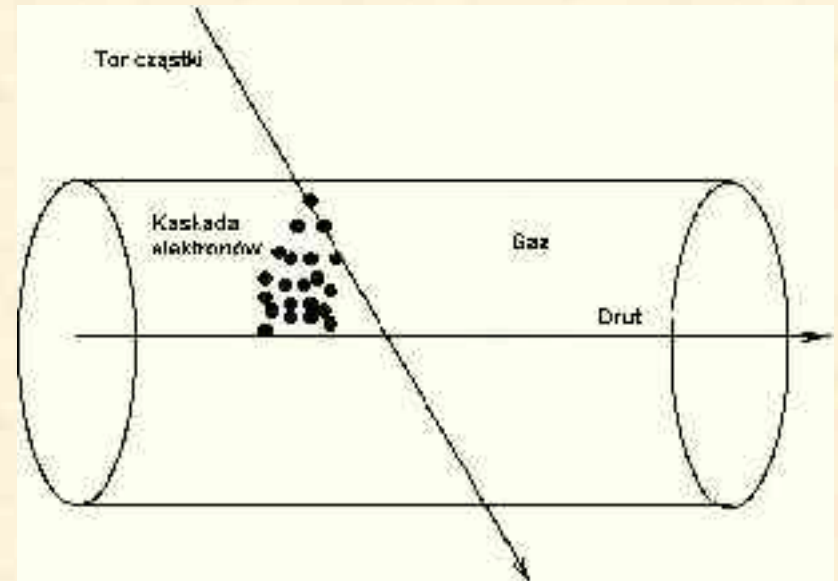
cząstka przechodząca przez gaz powoduje jego jonizację. Powstałe wolne elektrony płyną w kierunku drutu na którym utrzymywany jest potencjał dodatni

## Komory drutowe:

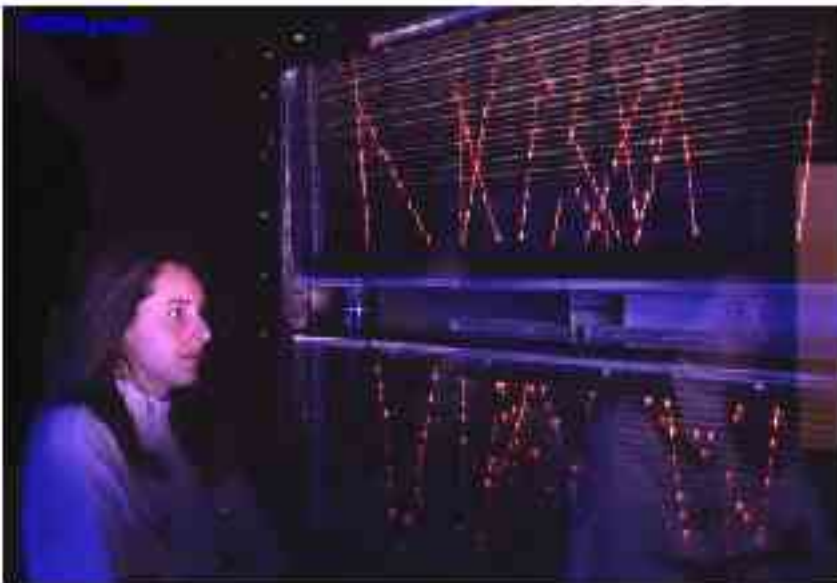
wykorzystują wiele drutów

## Detektory iskrowe:

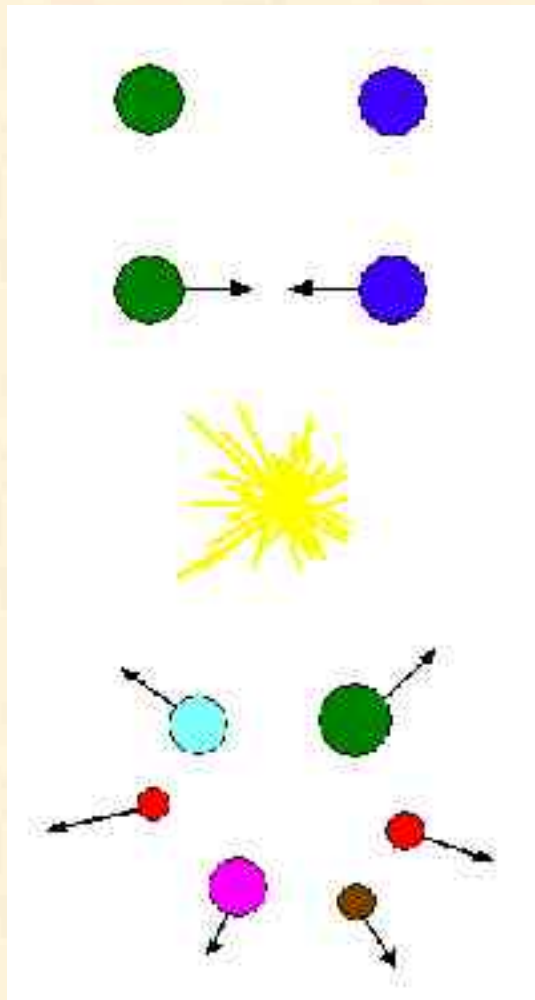
obserwacja wyładowań między naładowanymi przeciwnie płytkami



Za skonstruowanie komory wielodrutowej Georges Charpak – **Polak** z pochodzenia – otrzymał w 1992 Nobla



# A skąd wziąć nową cząstkę elementarną?



Bierzemy dwie znane nam cząstki (np. elektrony)

Rozpędzamy je do dużych prędkości

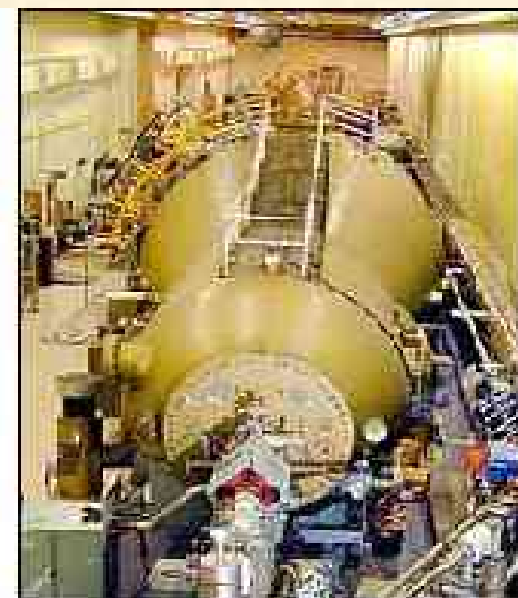
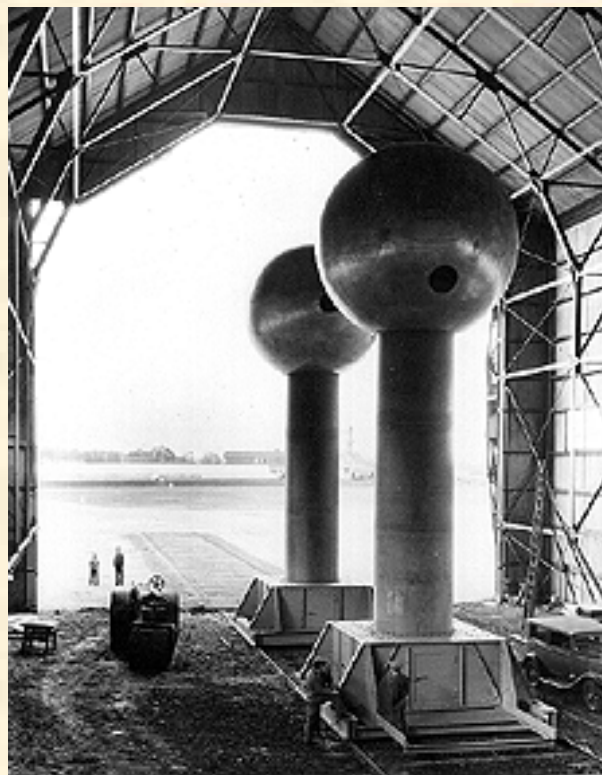
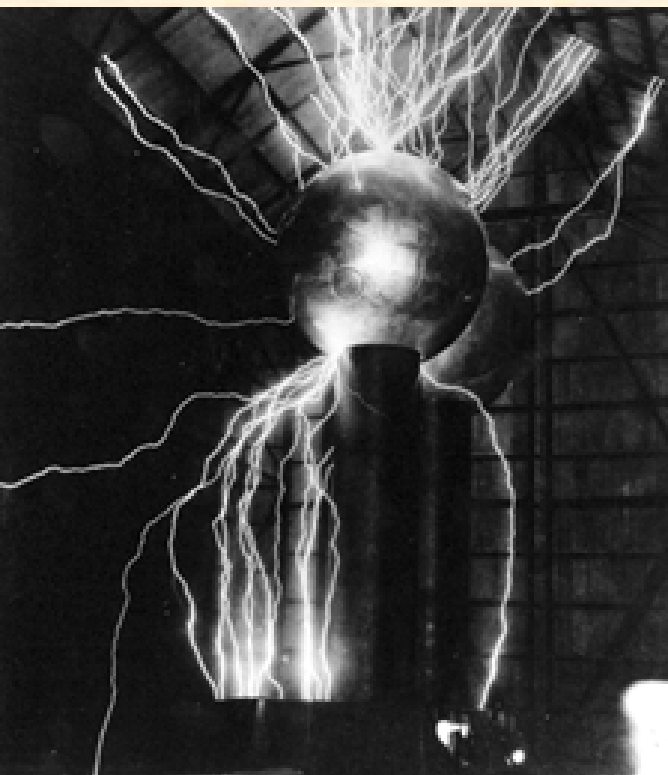
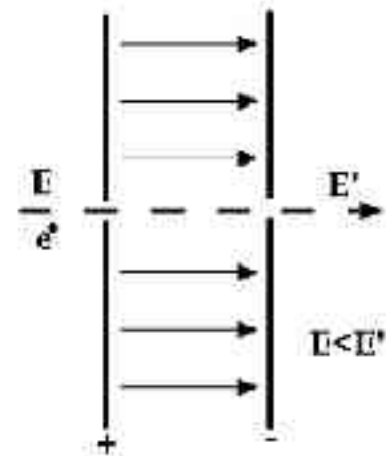
Zderzamy

Z obszaru zderzenia wylatują cząstki elementarne  
(wszystko jest zgodne z zasadą zachowania energii  
i pędu oraz z równaniem  $E=mc^2$ )

# Ale jak rozpedzić te cząstki?

Najprostszym akceleratorem (przyśpieszaczem) jest zwykły kondensator:

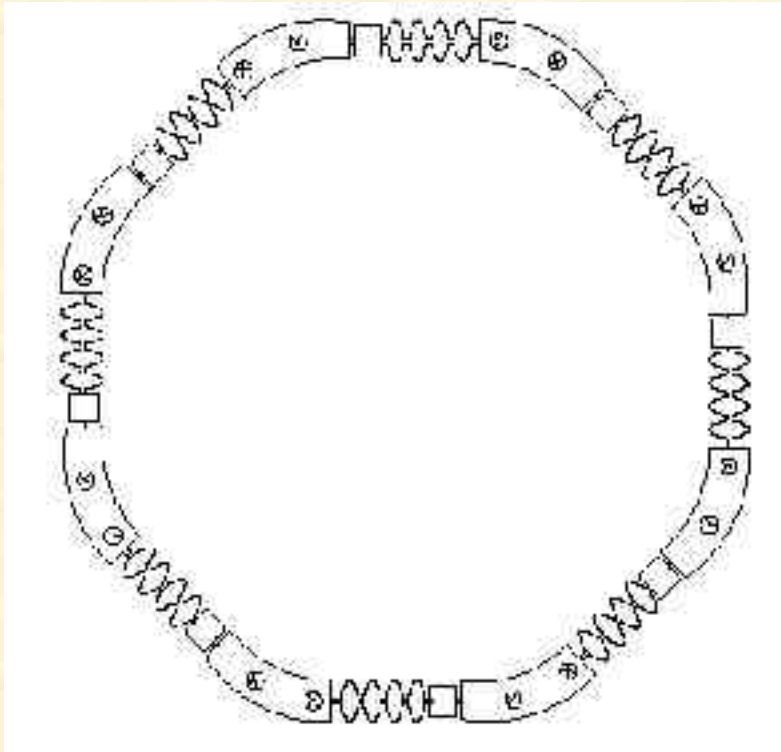
Największe akceleratory tego typu to tzw. Van de Graaffy, znane z filmów o Frankensteinie





# Jeszcze szybciej...

Wnęka przyspieszające, magnes zakrzywiający, układ ogniskujący  
Zestaw ten powtarza się dziesiątki, **setki** razy i otrzymuje wielokilometrowe akceleratory w kształcie torusa



Wszystkie elementy już mamy oprócz  
najważniejszego -

pomysłu

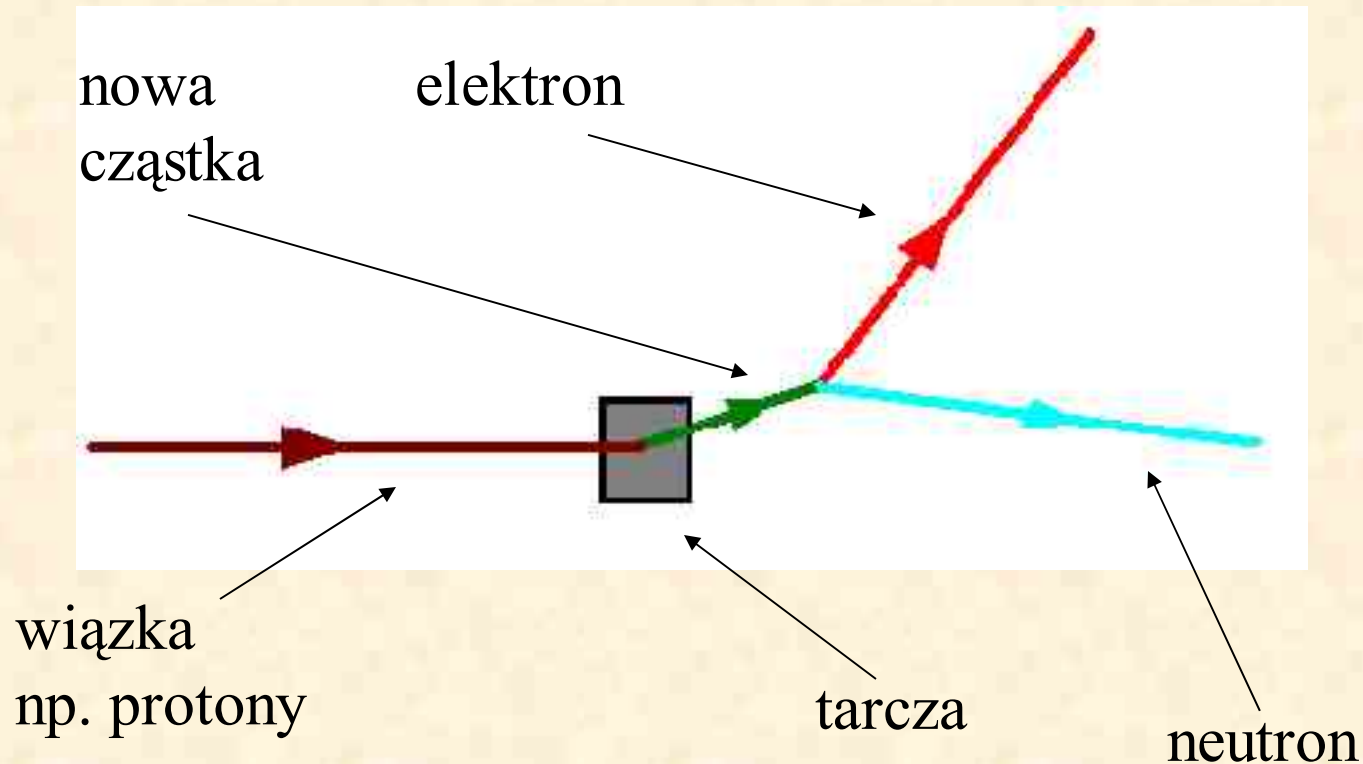
Zbierzmy specjalistów od teorii i zapytajmy ich o radę...



... „jest prawdopodobne, że istnieje cząstka  $\varphi$  o ładunku (+1) i masie  $M$ , która bardzo szybko rozpada się na elektron i neutron”

# No to przystępujemy do budowy...

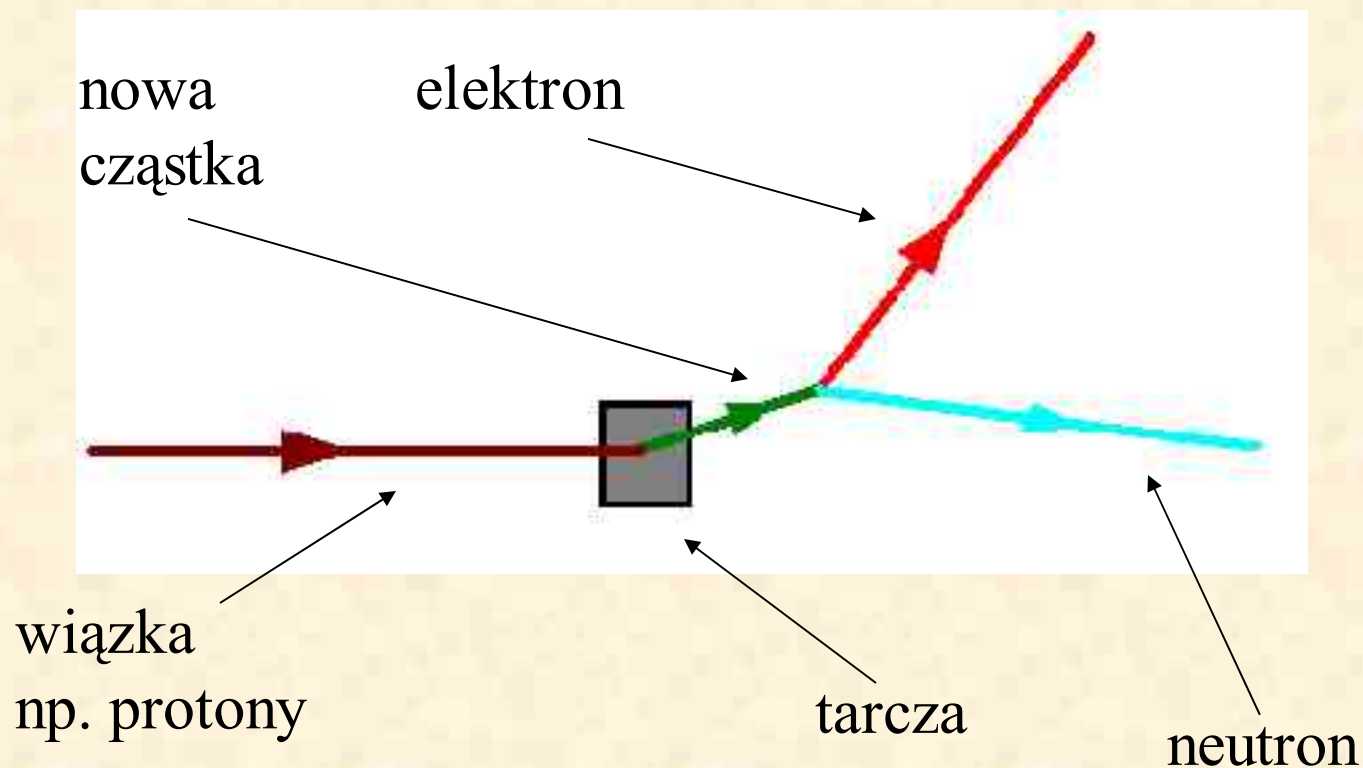
Konstruujemy odpowiedni zderzacz – pójdźmy na łatwiznę i użyjmy jednej wiązki, która zderzać się będzie z tarczą.



**Mamy Problem:**

nasza nowa cząstka żyje zbyt krótko, aby ją bezpośrednio zmierzyć !!!

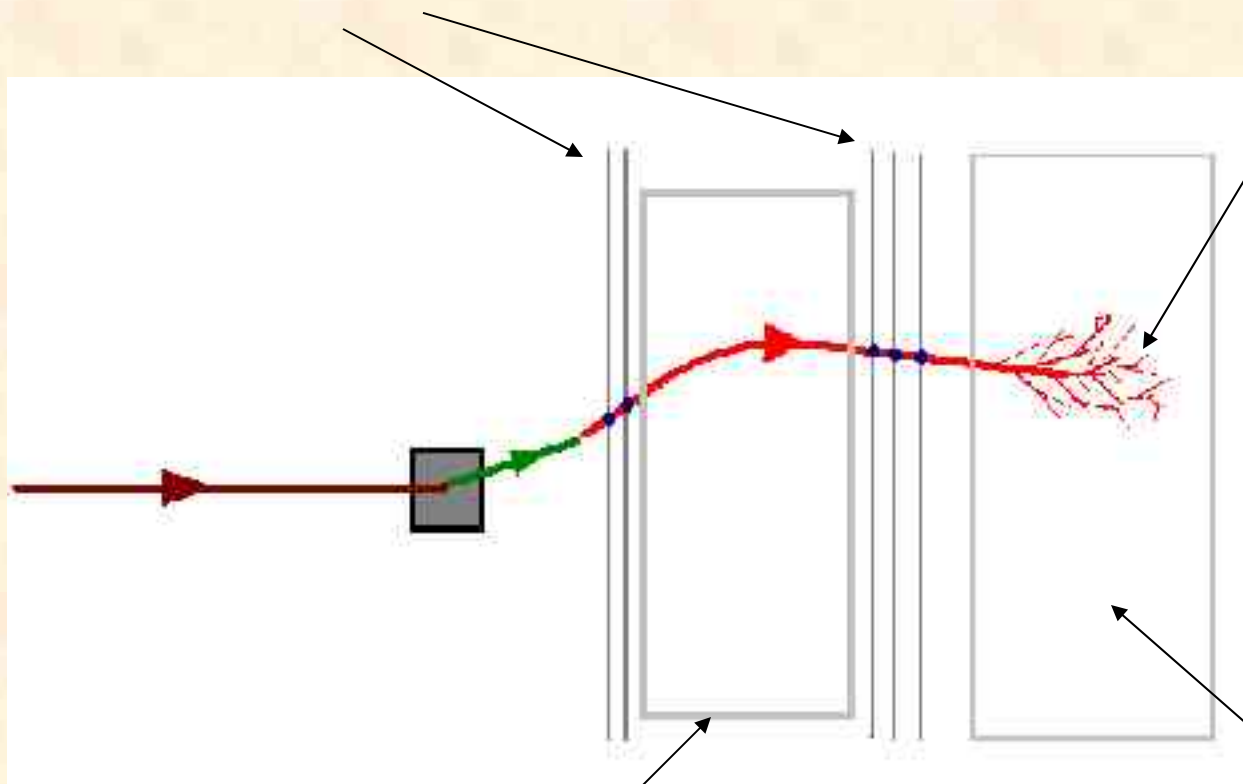
Rozwiązanie: zmierzmy energię i pędy elektronu i neutronu i użyjmy zasad zachowania otrzymując energię i pęd nieznannej cząstki !!!



# Zajmijmy się najpierw elektronem

detektory śladowe

kaskada cząstek

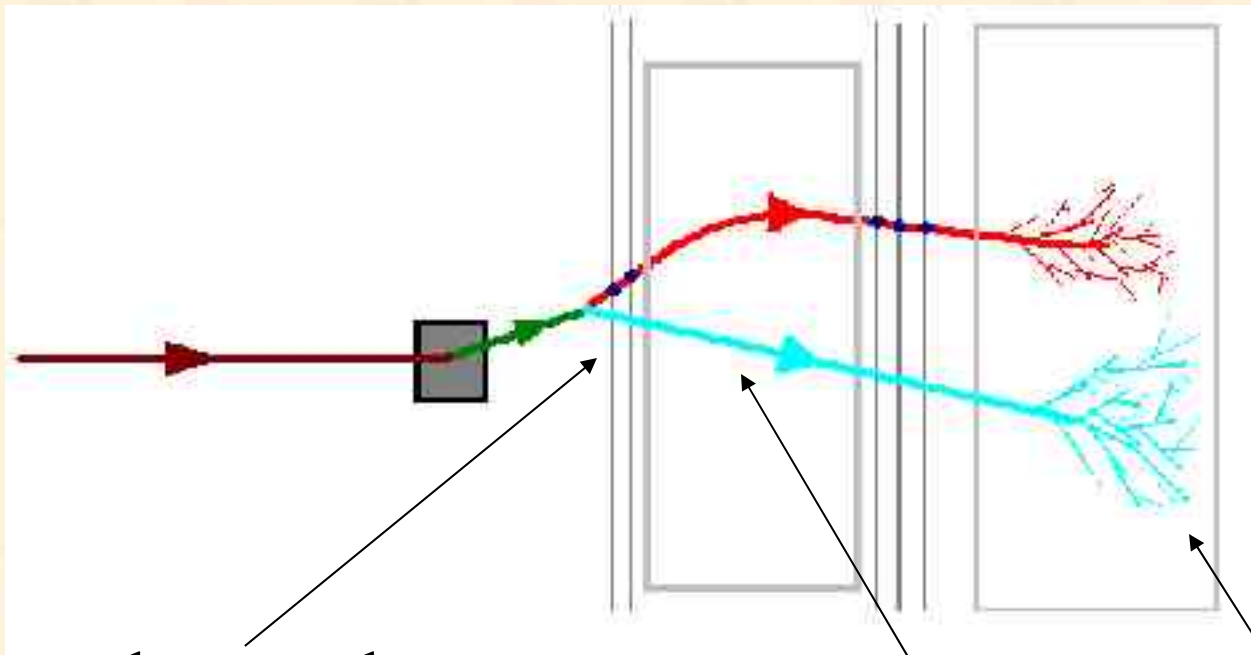


magnes

kalorymetr

W wyniku – pomiar energii, pędu (masy) i ładunku cząstki - elektron

# Dodajmy do tego obrazu neutron



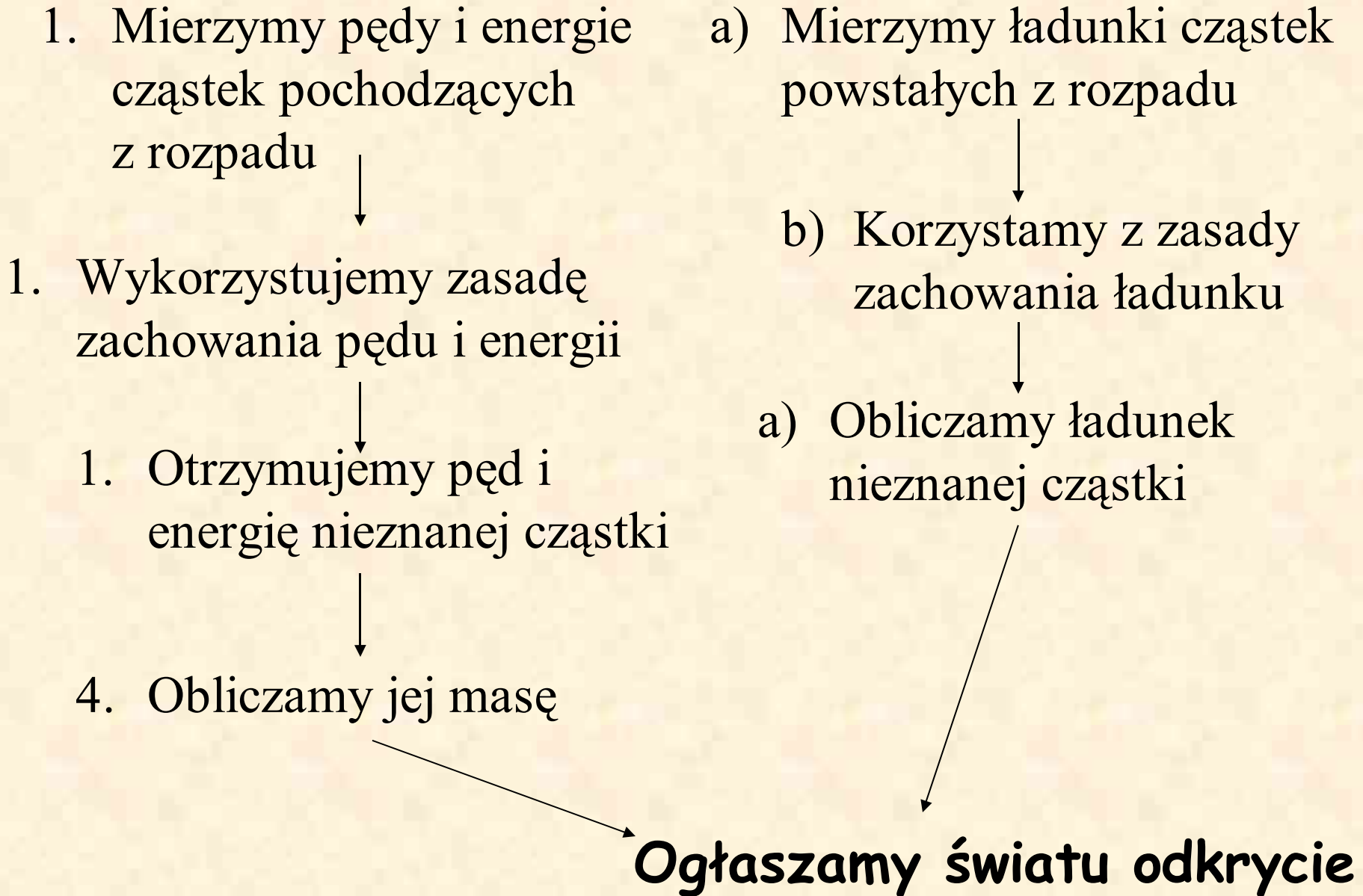
Neutron – cząstka neutralna  
brak sygnału w detektorach śladowych

Nie zakrzywia  
się w polu

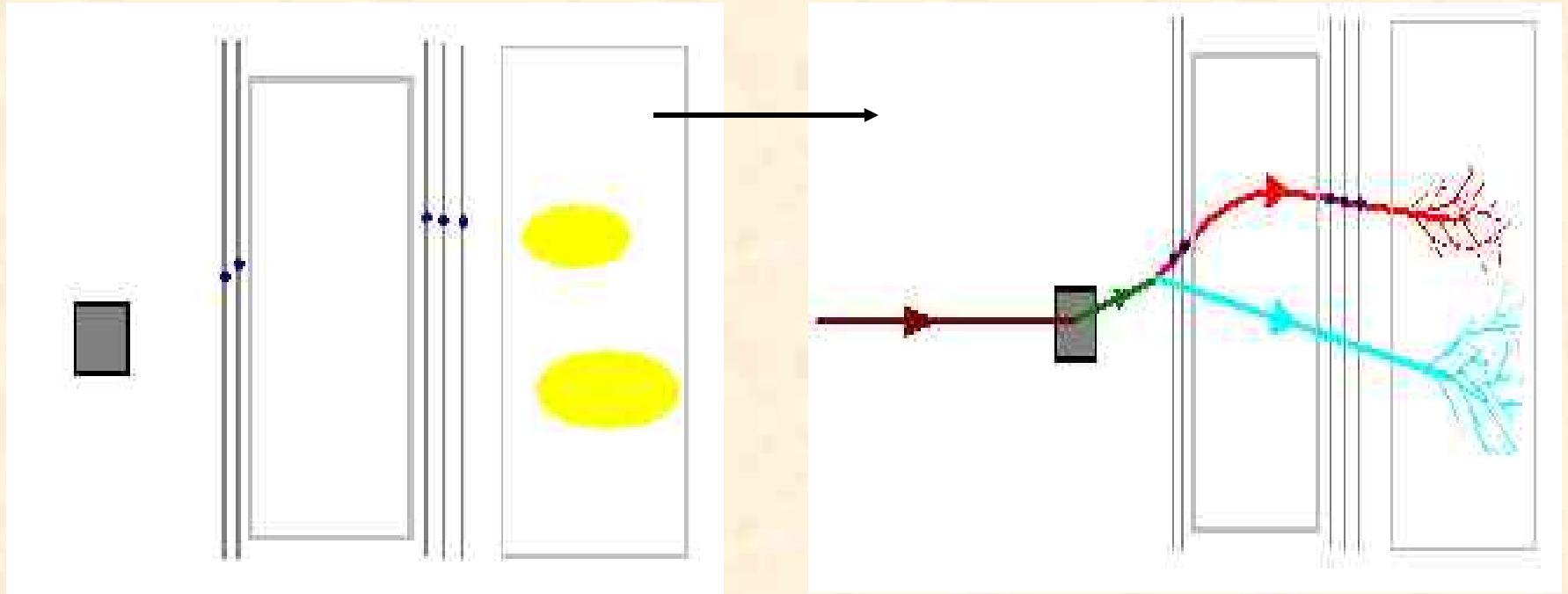
Kaskada  
cząstek

Mierzmy energię i identyfikujemy neutron po charakterystyce  
sygnału (otrzymujemy masę) → wyliczamy jego pęd.

# Podsumowując



Ale uwaga, w między czasie trzeba pokonać wiele trudności

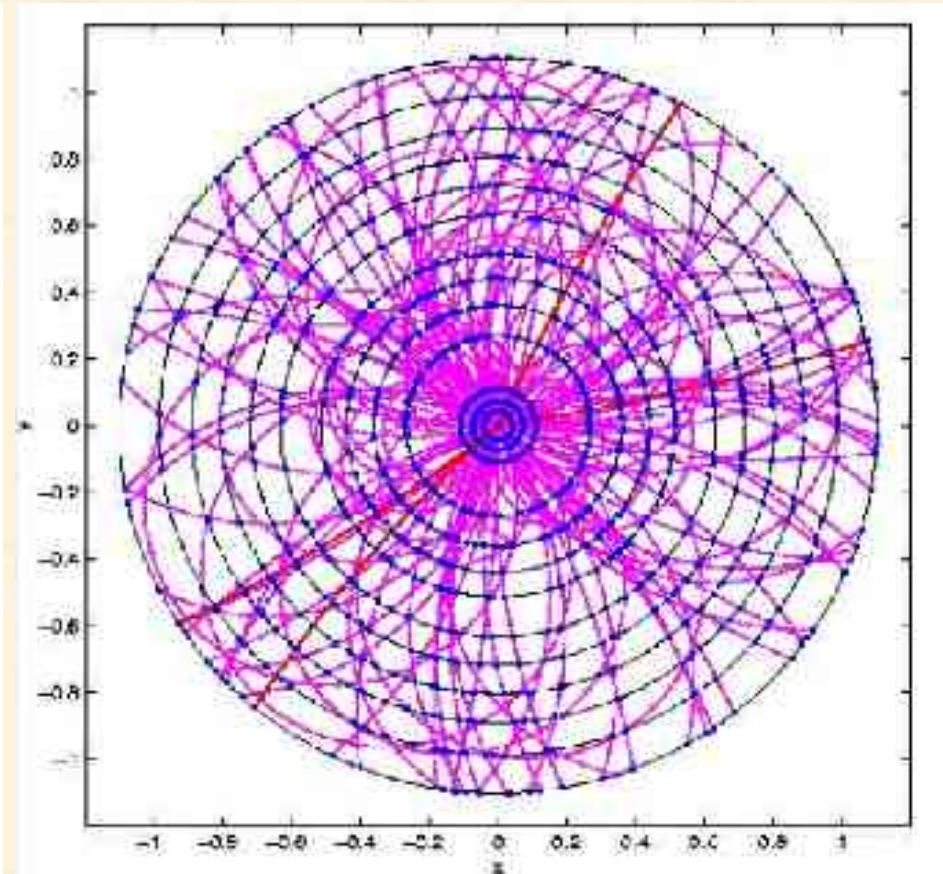
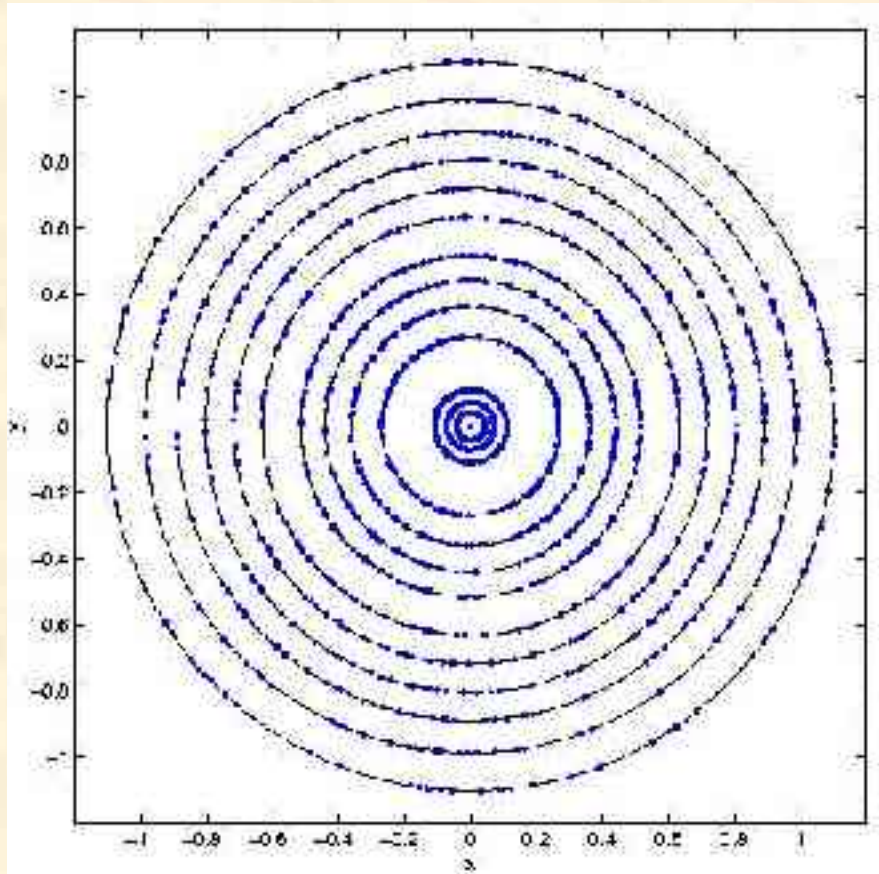


Proces rekonstrukcji zdarzenia:

- zaawansowane metody statystyczne
- sieci neuronowe

Na pierwszy rzut oka proste, ale...

# Jak to jest w prawdziwym życiu...



Obserwacja: dużo śladów, możliwość pomyłki - tzw. *tło*

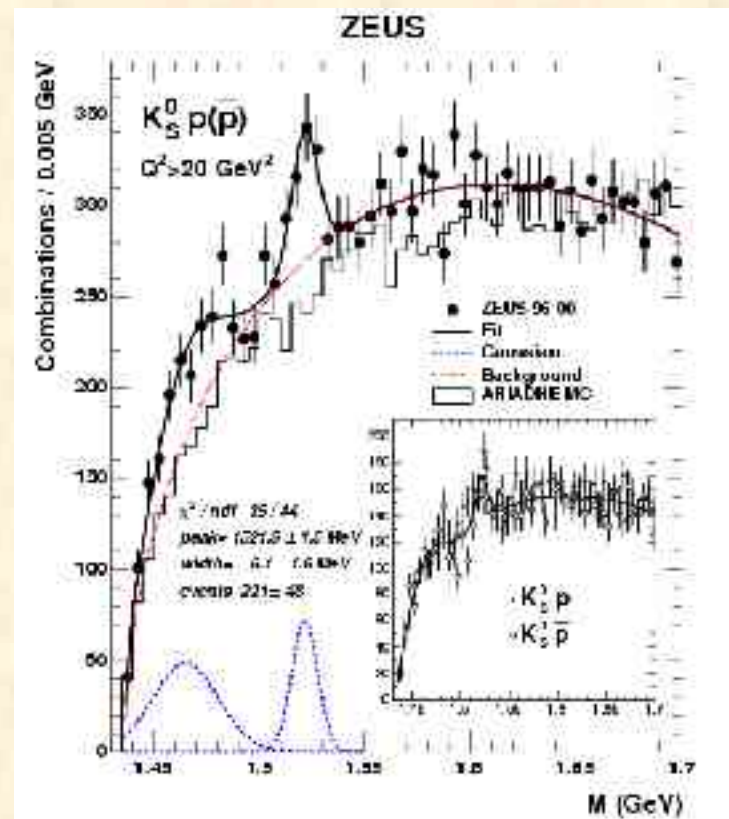
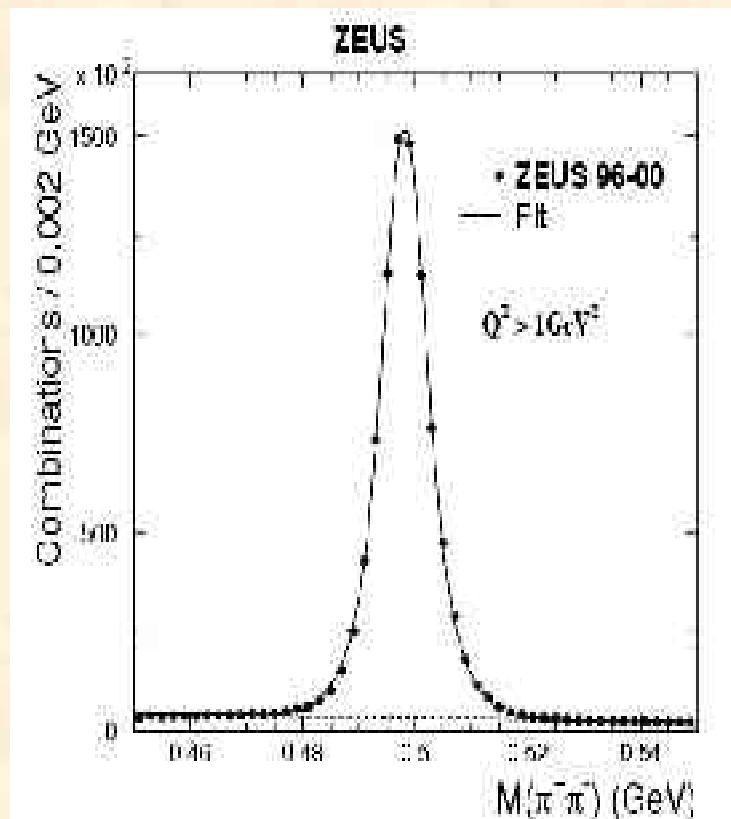
# Jak walczymy z tłem?

Z trudem...

...Albo i w ogóle

Ilość tła jesteśmy w stanie z góry przewidzieć.

Wszystko co pojawia się ponad tłem – poszukiwany sygnał.



## Tło jeszcze raz...

Zazwyczaj szukamy bardzo rzadkich procesów – występują  $1/10000000$  lub rzadziej zderzeń...

Musimy dokonać wielu *milionów* pomiarów, aby odkryć nową cząstkę.

Pomiar wiąże się z zapisaniem ogromnej ilości danych na dyski...

oraz

...Z przetworzeniem ich przy pomocy wielkiej liczby komputerów

# Centrum obliczeniowe „Świat”

Wczoraj i dziś fizycy liczyli tutaj:



Jutro i pojutrze będą liczyć tutaj:



# Czy to już wszystko?

Znajdujemy dowód na istnienie  
nowej cząstki

↓  
Sprawdzamy czy nie popełniliśmy błędu

↓  
Dajemy naszym współpracownikom sprawdzić  
czy nie popełniliśmy błędu

↓  
Prosimy inny eksperyment o sprawdzenie  
naszych wyników

↓  
***PUBLIKUJEMY***

# No i możemy odebrać Nagrodę Nobla...



Pozostaje już tylko wdrożyć odkryte w między czasie technologie:

- nowe komputery
- metody matematyczne
- nowe typy detektorów
- magnesów
- kriostatów
- laserów
- itp. itd.
- i oczywiście nowe prawa fizyki...

Posunęliśmy się o krok dalej w zrozumieniu Wszechświata

