



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Cząstka Higgsa w LHC

Fizyka I (Mechanika)

Wykład XV:

- cząstki i fale
- spontaniczne łamanie symetrii i cząstka Higgsa
- jak działa akcelerator LHC
- poszukiwania cząstki Higgsa w LHC

- Informacje o egzaminie

Świat cząstek elementarnych

Model Standardowy

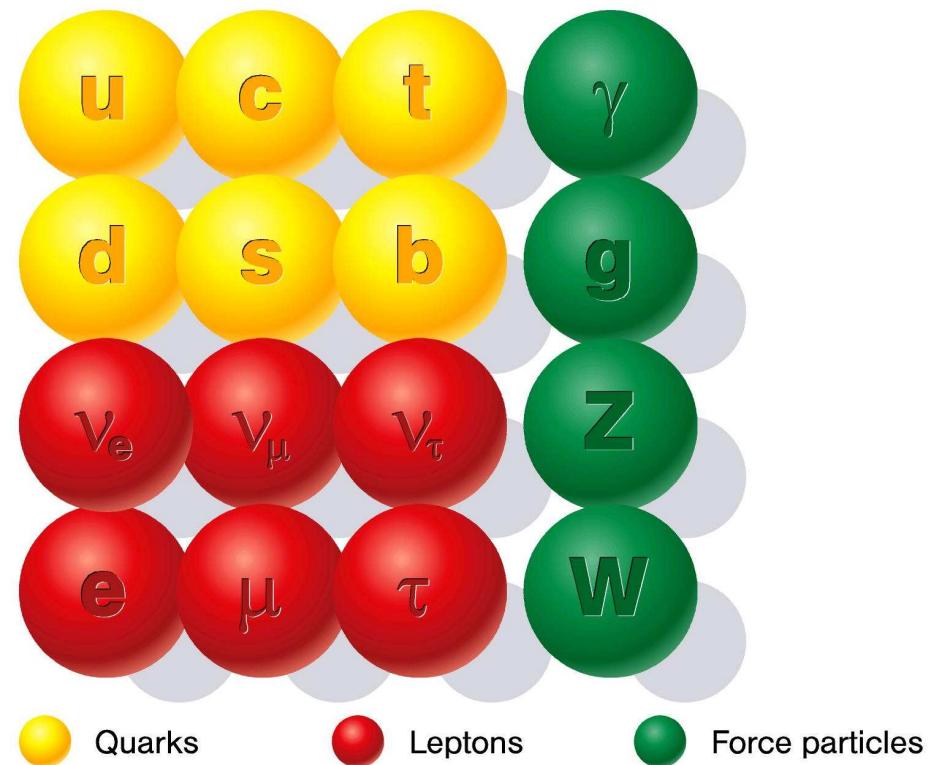
Całą naszą wiedzę doświadczalną na temat cząstek elementarnych bardzo dokładnie opisuje **Model Standardowy**

Łączy on teorie oddziaływań elektromagnetycznych, słabych i silnych.

Cząstkami modelu są

- cząstki materii
kwarki i leptony
- nośniki oddziaływań
 γ , g , W^\pm i Z^0

A ich oddziaływania opisane są w ramach tzw. kwantowej teorii pola (QFT)

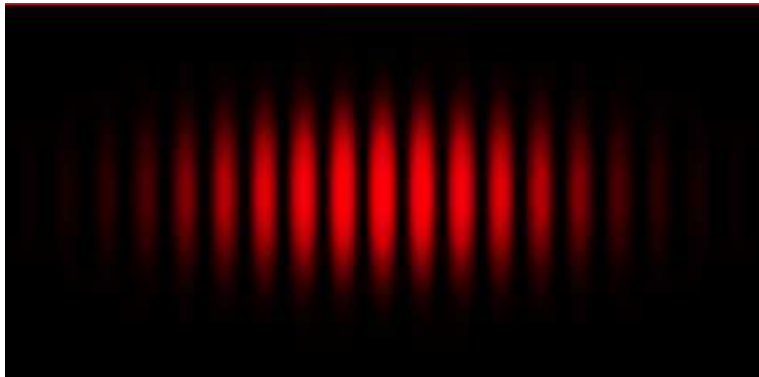


Cząstki i fale

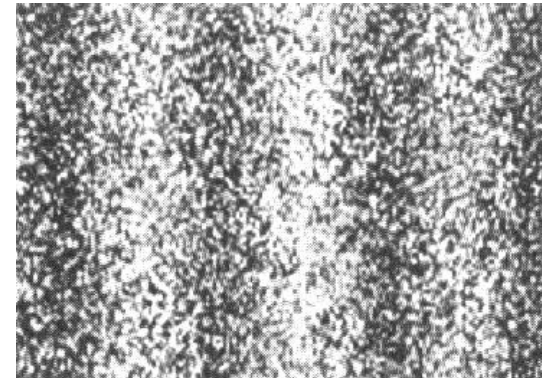
W roku 1923 Louis de Broglie wysunął hipotezę, że **wszystkie cząstki** powinny przejawiać własności **falowe** !

Obraz przy przechodzeniu przez dwie szczeliny:

Światło



Elektrony



Złożenie **fal**

70000 elektronów

⇒ **prążki interferencyjne**

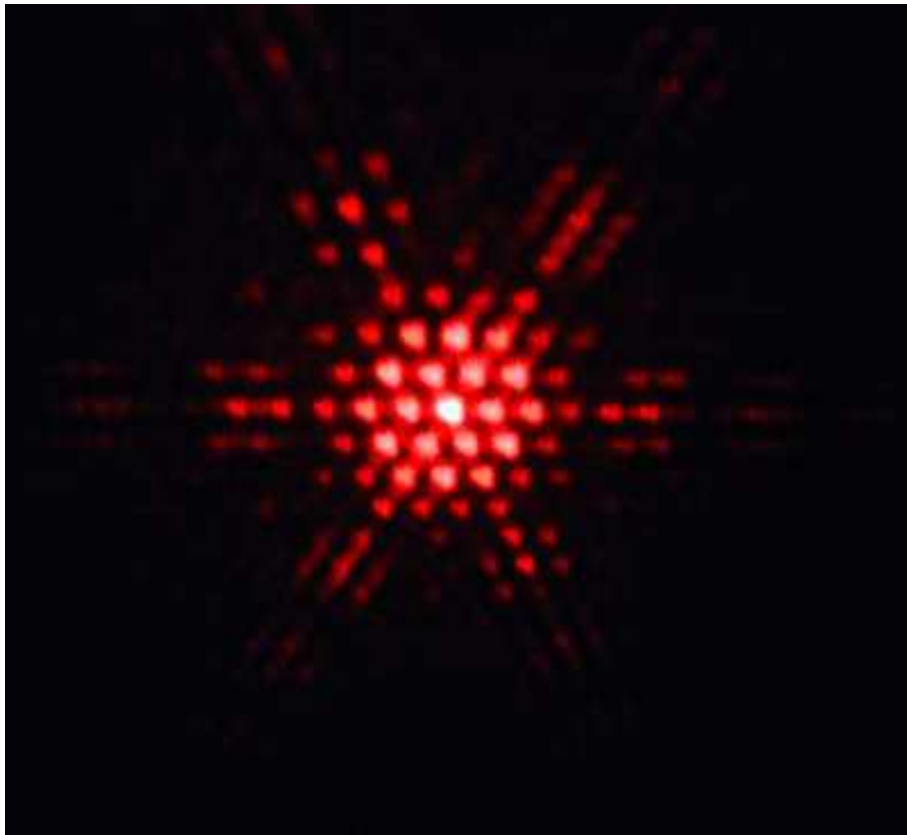
Elektrony też zachowują się jak fale !

Doświadczenie potwierdziło hipotezę de Broglie'a.

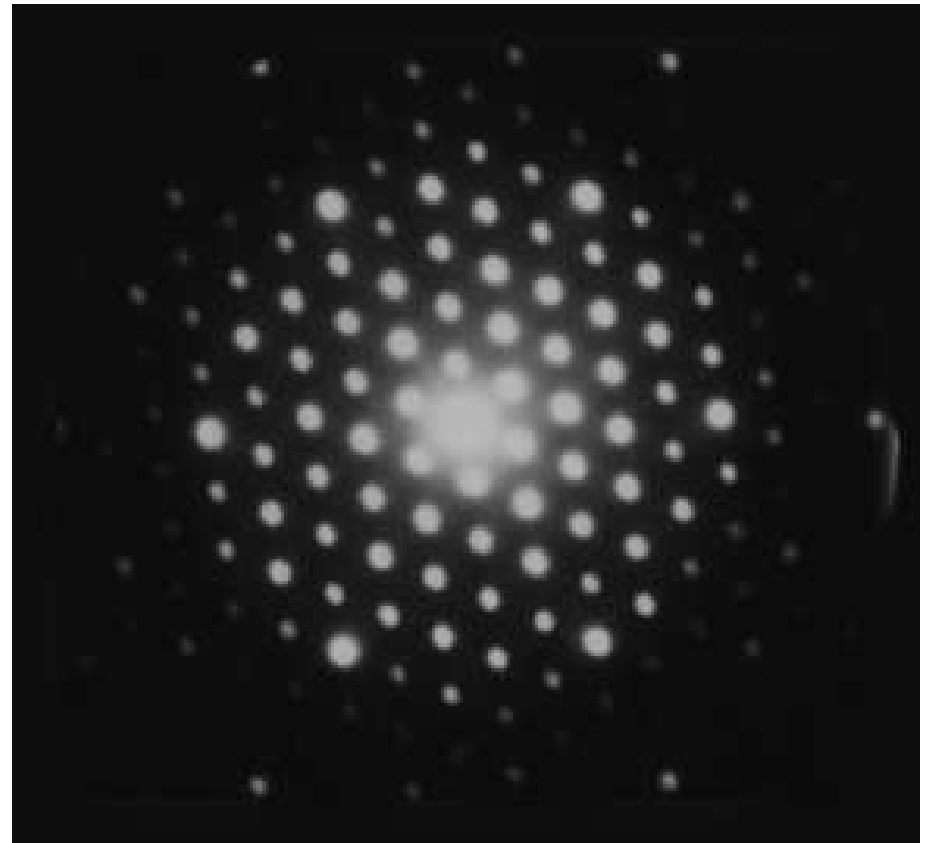
Cząstki i fale

Dyfrakcja na strukturach heksagonalnych

Światło



Elektrony



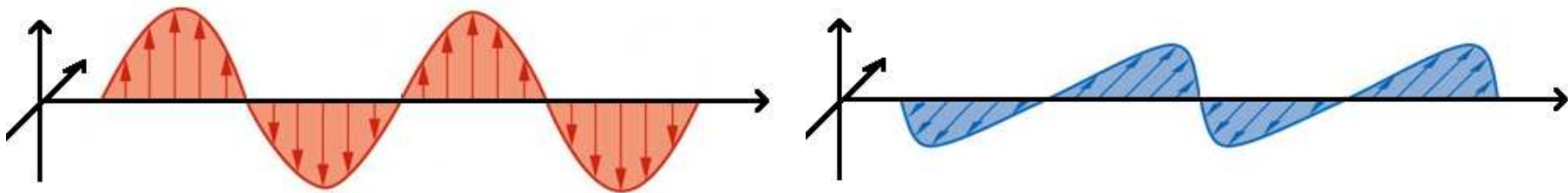
Cząstki i fale

Mechanika kwantowa opisuje cząstki poprzez tzw. **funkcje falowe**.

Ruch cząstki opisujemy jako rozchodzenie się **“fal prawdopodobieństwa”**.

Amplituda tej fali opisuje **prawdopodobieństwo** znalezienia cząstki w danym miejscu i danej chwili czasu. Dopiero **pomiar** ujawnia nam gdzie faktycznie była cząstka.

Fizycznie mierzalny (wpływający na wynik pomiaru) jest tylko **kwadrat amplitudy** funkcji falowej. Jej **faza** (“polaryzacja fali”) jest **nieistotna** (nie wpływa na pomiar).



Symetria cechowania

Niezmienniczość teorii względem zmiany fazy

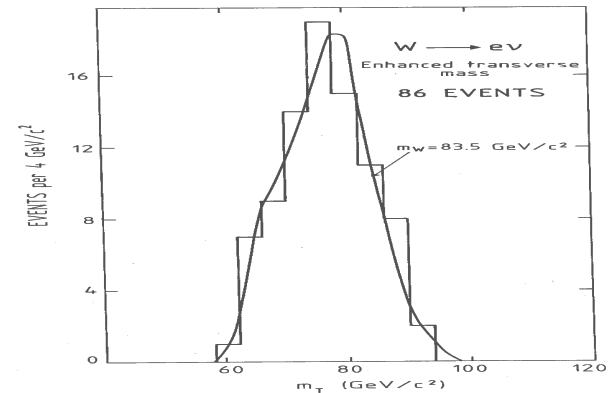
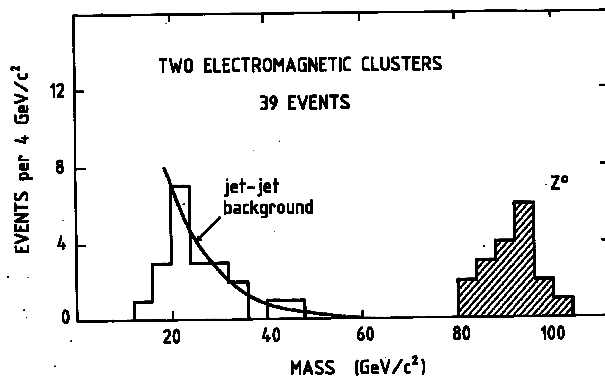
Spontaniczne łamanie symetrii

Założenie **symetrii cechowania** pozwala na bardzo prosty i elegancki opis oddziaływań cząstek w Modelu Standardowym, w języku **kwantowej teorii pola**.

Z **symetrii** cechowania wynika jednak, że nośniki oddziaływań powinny być **bezmasowe**.
“Fale oddziaływań” nie mają masy !

Z drugiej strony **doświadczenie** pokazuje, że bozony W^\pm i Z^0 mają **niezerową masę**...

Odkrycie bozonów Z^0 i W^\pm przez eksperymenty UA1 i UA2 (1983):



⇒ czy potrafimy pogodzić wymóg symetrii z doświadczeniem ?!

Czy w symetrycznym świecie mogą istnieć stany łamiące symetrię?

Spontaniczne łamanie symetrii

Analogia klasyczna

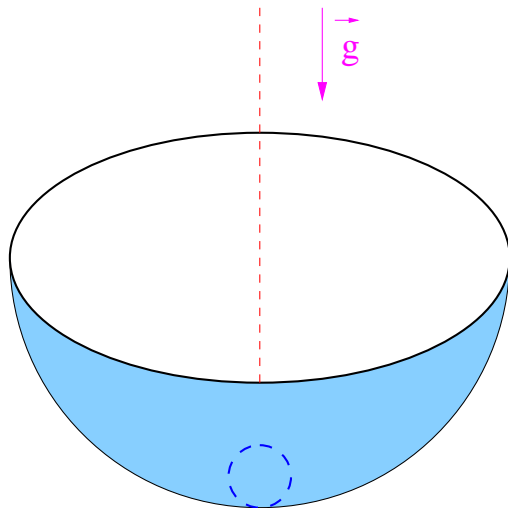
Podobny problem spotykamy rozważając kulkę w osiowo-symetrycznej czaszy (w jednorodnym polu grawitacyjnym).

Nawet jeśli **nie znamy kształtu** czaszy możemy oczekiwać, że **położenie równowagi** kulki znajduje się **na osi symetrii** czaszy.

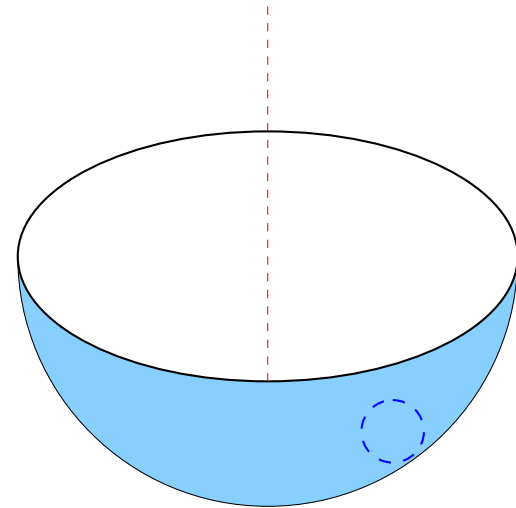
Niezależnie od warunków początkowych kulka powinna się tam w końcu znaleźć...

Jednak doświadczenie może wykazać, że kulka nie znajduje się na osi symetrii !...

Teoria



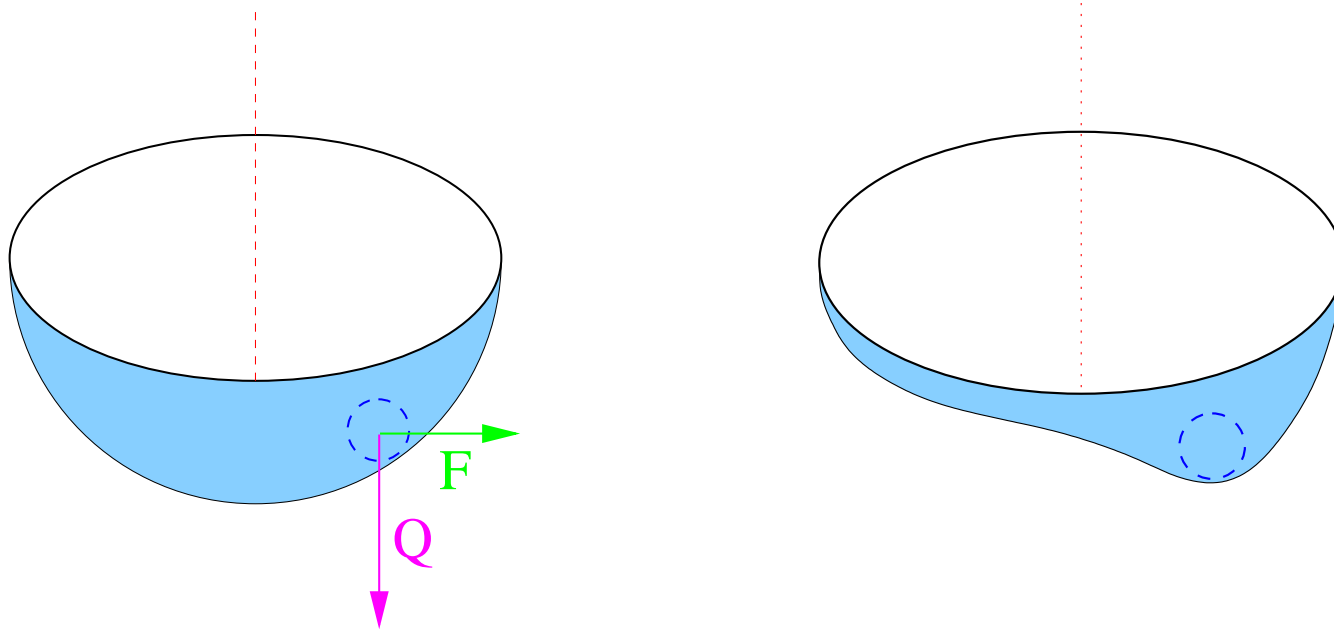
Pomiar



Spontaniczne łamanie symetrii

Możliwe wytłumaczenia wyniku doświadczenia:

- na kulkę działa dodatkowa siła, skierowana **pod kątem** do osi
- czasza **nie ma symetrii** osiowej



⇒ w obu tych przypadkach musimy przyznać, że nasza symetria jest **“złamana”** (nie obowiązuje)

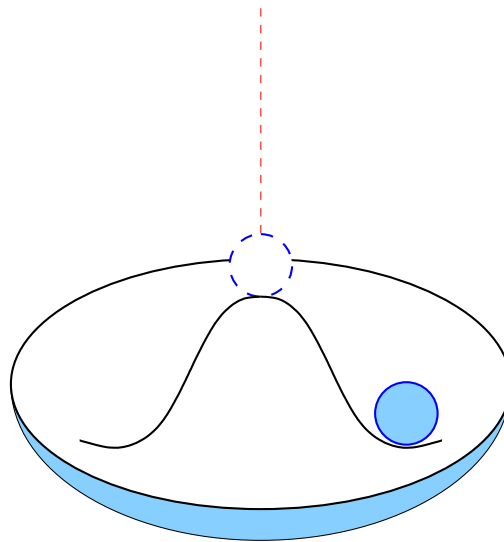
Czyli musimy “wyrzucić do kosza” naszą teorię...

Spontaniczne łamanie symetrii

Okazuje się, że można pogodzić teorię i doświadczenie

Czasza zachowuje symetrię osiową

ale położenie na osi nie jest stanem równowagi trwałej \Rightarrow kulka stacza się

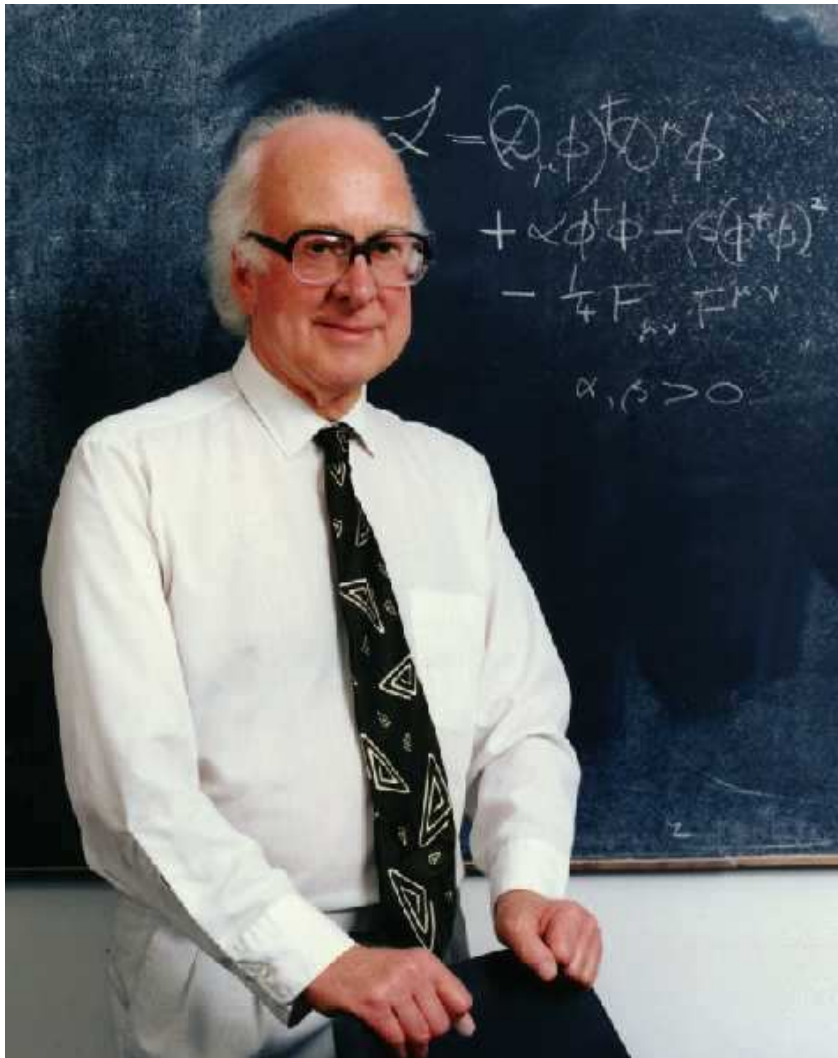


Staczająca się kulka wybiera jedno z **wielu możliwych** położeń równowagi
(zbiór wszystkich tych położeń zachowuje symetrię teorii)

Stoczenie się kulki powoduje jednak **spontaniczne** złamanie symetrii!

Stan w jakim kulka się znalazła nie ma symetrii teorii

Spontaniczne łamanie symetrii



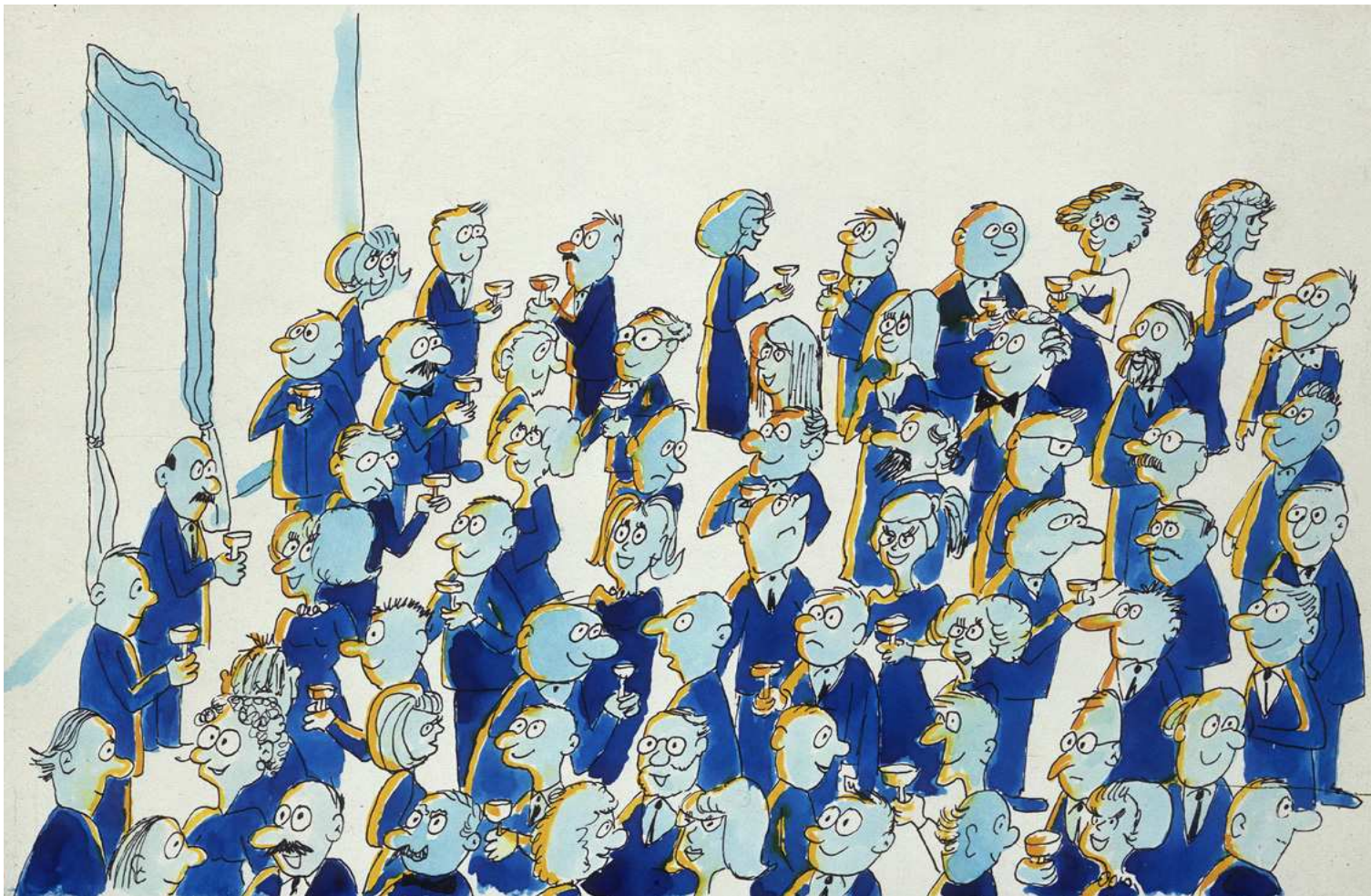
Na możliwość nadania mas nośnikom oddziaływań poprzez spontaniczne łamanie symetrii wskazał czterdzieści lat temu (1964) Peter W. Higgs.

Mechanizm spontanicznego łamania symetrii, zwany także **mechanizmem Higgsa**, jest podstawą współczesnej teorii oddziaływań elektroslabych.

Wszystkie cząstki uzyskują **masę** poprzez oddziaływanie z polem Higgsa!

Mechanizm Higgsa

Wyobraźmy sobie salę bankietową
równomiernie wypełnioną ludźmi (pole Higgsa)



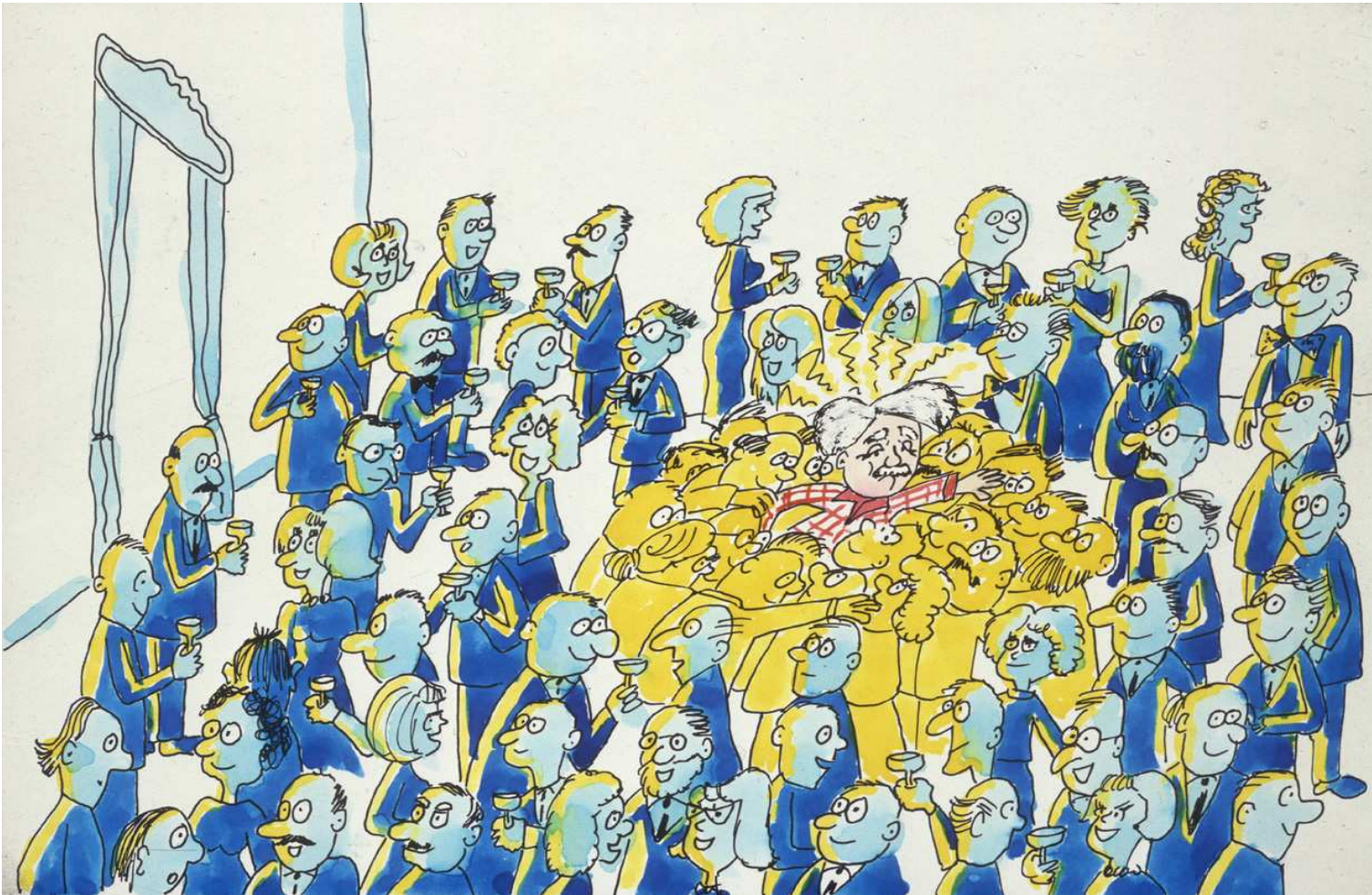
Mechanizm Higgsa

Pojawia się sławny naukowiec (bozon cechowania) przyciągając uwagę zebranych...



Mechanizm Higgsa

Ludzie cisnący się wokół naukowca utrudniają mu poruszanie się (nadają mu masę)



Cząstka Higgsa

Ludzie na bankiecie mogą też **spontanicznie** tworzyć
“**zgęszczenia**” ⇒ oczekujemy istnienia dodatkowej **cząstki Higgsa**



Cząstka Higgsa

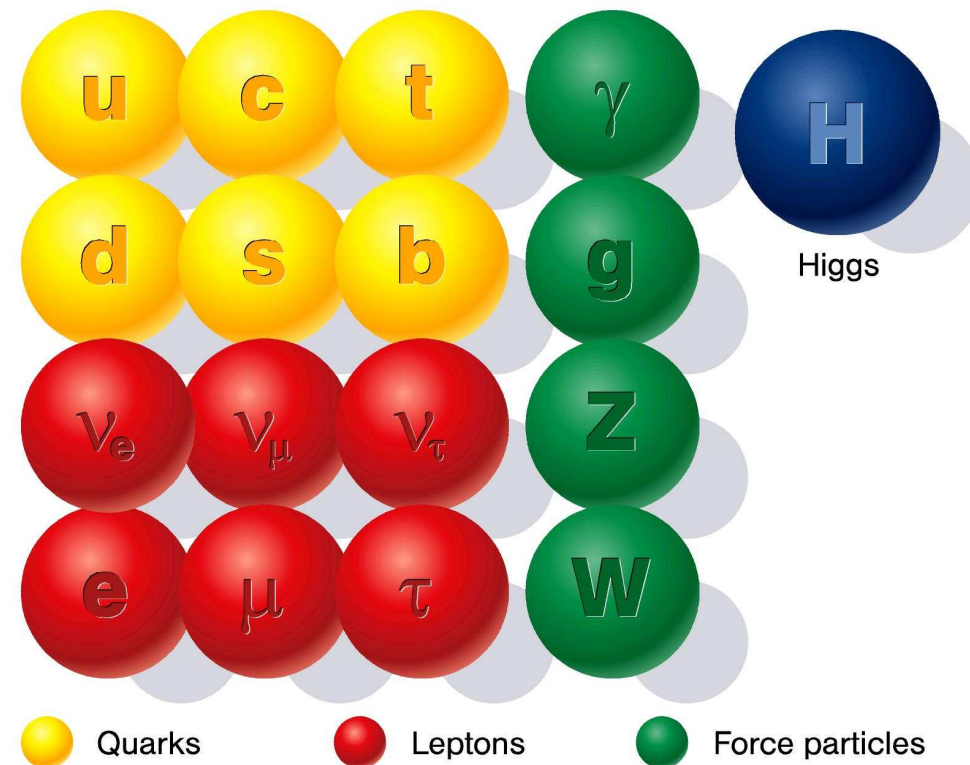
Model Standardowy

Precyzyjnie opisuje cząstki elementarne i ich oddziaływania: elektromagnetyczne, słabe i silne.

Cząstkami modelu są

- cząstki materii
kwarki i leptony
- nośniki oddziaływań
 γ , g , W^{\pm} i Z^0
- bozon Higgsa
konieczny dla spójności modelu

“Nadaje masy” wszystkim cząstkom



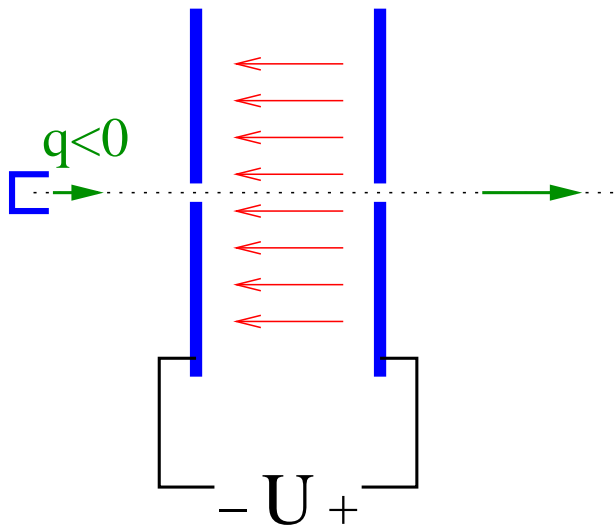
Akceleratory

Akceleratory elektrostatyczne

W 1919 roku Rutherford wskazał na korzyści z przyspieszania cząstek.

Najprostszym akceleratorem cząstek jest pole elektrostatyczne:

np. kondensator



Uzyskiwana energia:

$$E = E_0 + U \cdot q$$

Problemem jest uzyskanie odpowiednio wysokiej różnicy napięć.

generator Cockrofta-Waltona (1932)

generator Van de Graaffa (1931)

Obecnie uzyskujemy różnice napięć maksymalnie rzędu 30 MV

energia 30 MeV uzyskiwana przez cząstkę $|Q|=1e$

W pewnych dziedzinach wciąż używane, ale zbyt mało dla fizyki cząstek.

Akceleratory

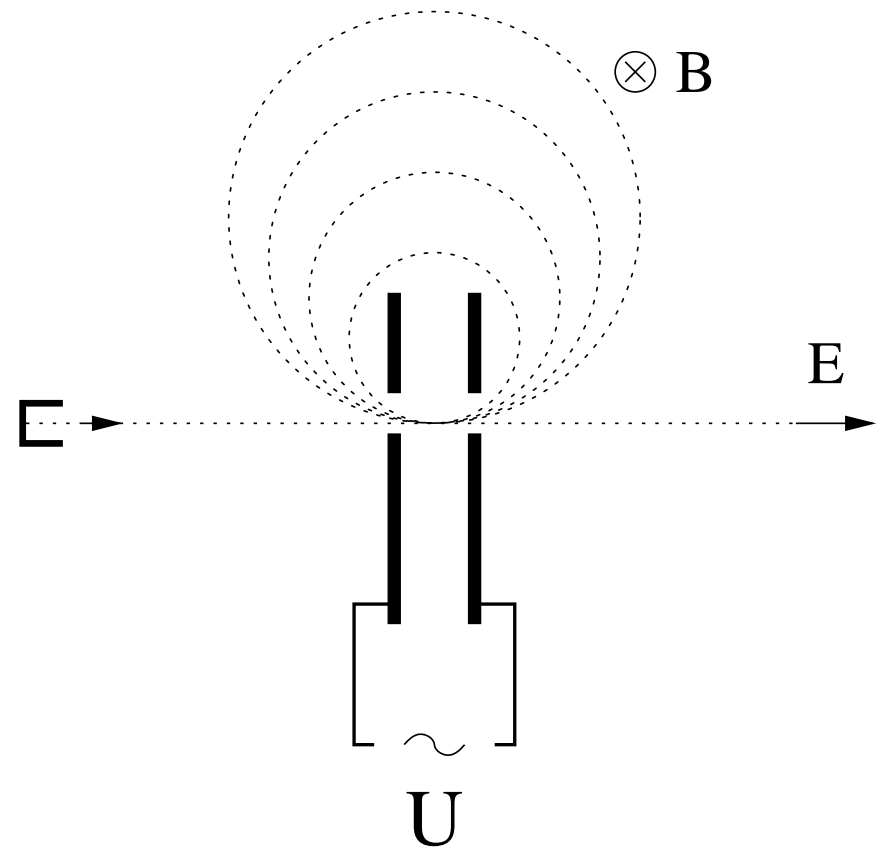
Akcelerator kołowy

Zamiast używać wielu wnęk możemy wykorzystać pole magnetyczne do “zapętlenia” cząstki.

Cząstki mogą przechodzić przez wnękę przyspieszającą wiele razy...

Pierwszy tego typu akcelerator (**cyklotron**) zbudował w 1931 roku Ernest Lawrence

Schemat poglądowy:



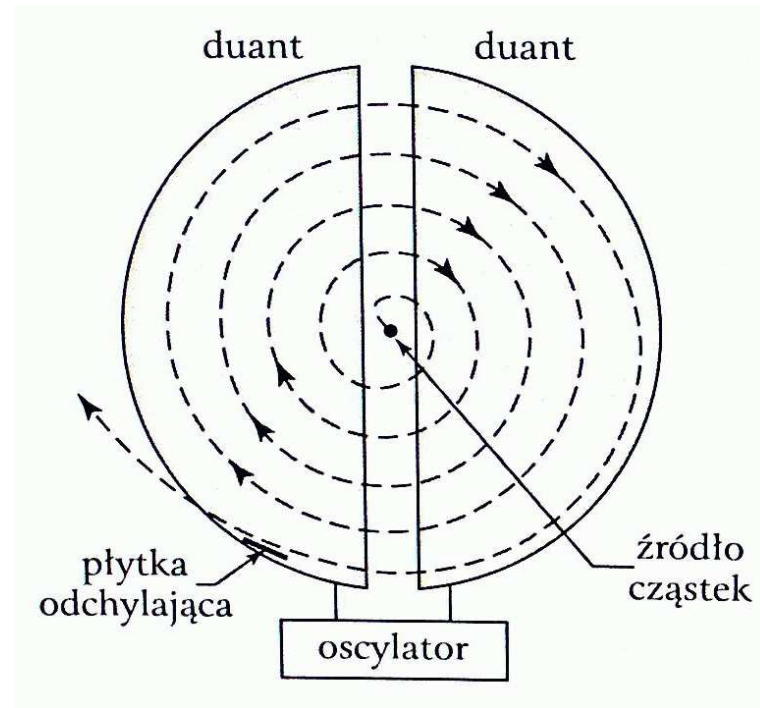
Akcelerator

Cyklotron

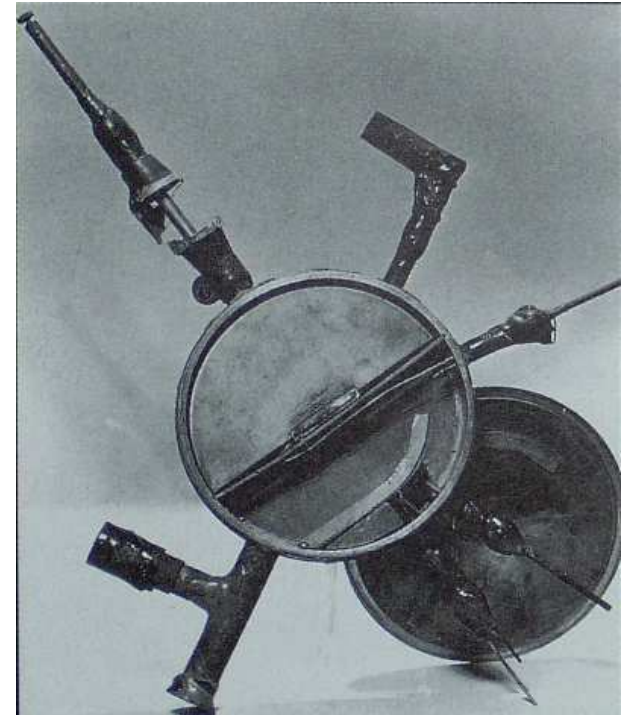
Ernest Lawrence



Schemat



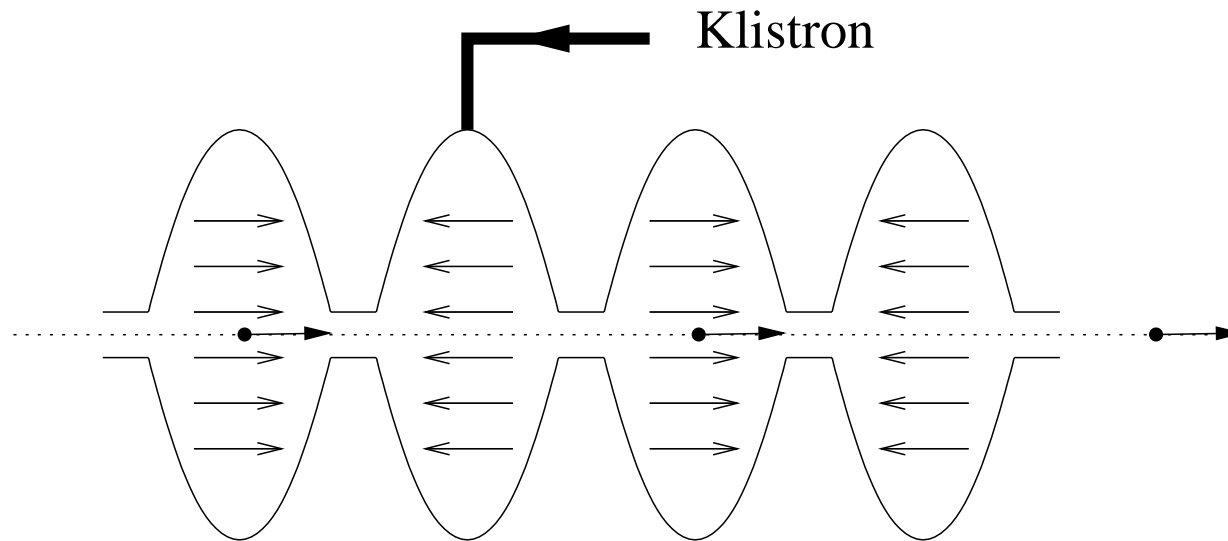
Pierwszy cyklotron



Akceleratory

Wnęka rezonansowa

Obecnie do przyspieszania cząstek wykorzystujemy wnęki rezonansowe:



Wewnątrz wnęki wytwarzana jest stojąca fala elektromagnetyczna.

Częstości rzędu 1 GHz - mikrofałe.

Wnęki rezonansowe pozwalają uzyskiwać natężenia pola rzędu 10 MV/m

W technologii CLIC wykorzystującej drugą wiązkę jako źródło fali: 100 MV/m

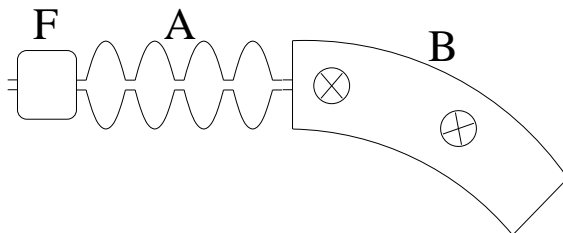
Akceleratory

Akcelerator kołowy

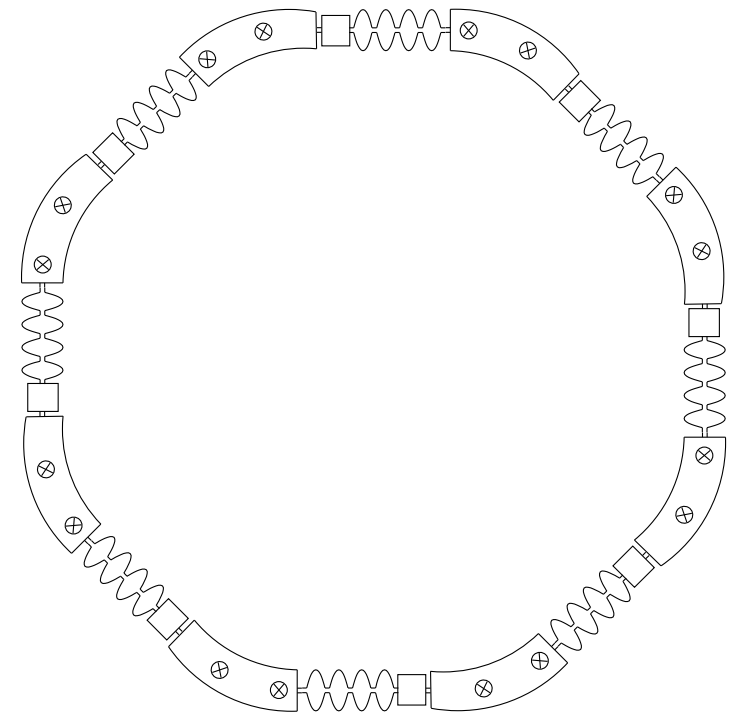
W praktyce akceleratory kołowe zbudowane są z wielu powtarzających się segmentów:

Każdy segment składa się z

- wnęk przyspieszających (A)
- magnesów zakrzywiających (B)
- układów ogniskujących (F)



Schemat akceleratora:



Akceleratory

LEP/LHC

Największy zbudowany dotąd akcelerator: **LEP** w CERN pod Genewą, obwód 27 km. Zderzał **przeciwbieżne wiązki elektronów i pozytonów** do energii ~ 100 GeV.

W tym samym tunelu zbudowano następnie **LHC**, który zderza **przeciwbieżne** wiązki protonów o energii **3.5 TeV** (docelowo 7 TeV).

Docelowo 2800 "paczek" po 10^{11} protonów.

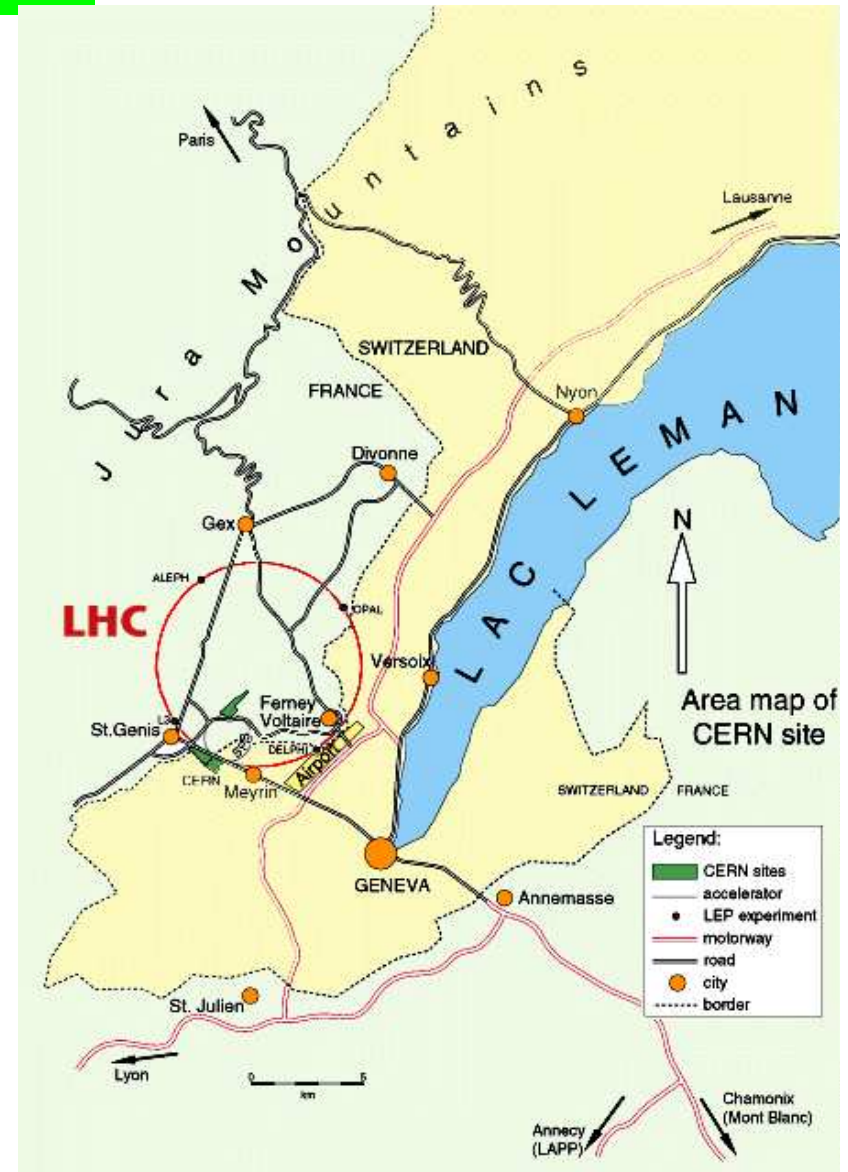
Energia jednej paczki: $\sim 10^5$ J

Samochód osobowy jadący ok. 60 km/h

Całkowita energia wiązek: $\sim 6 \cdot 10^8$ J

Energia pola magnetycznego: $\sim 10^{10}$ J

Airbus A380 lecący z prędkością 700 km/h.

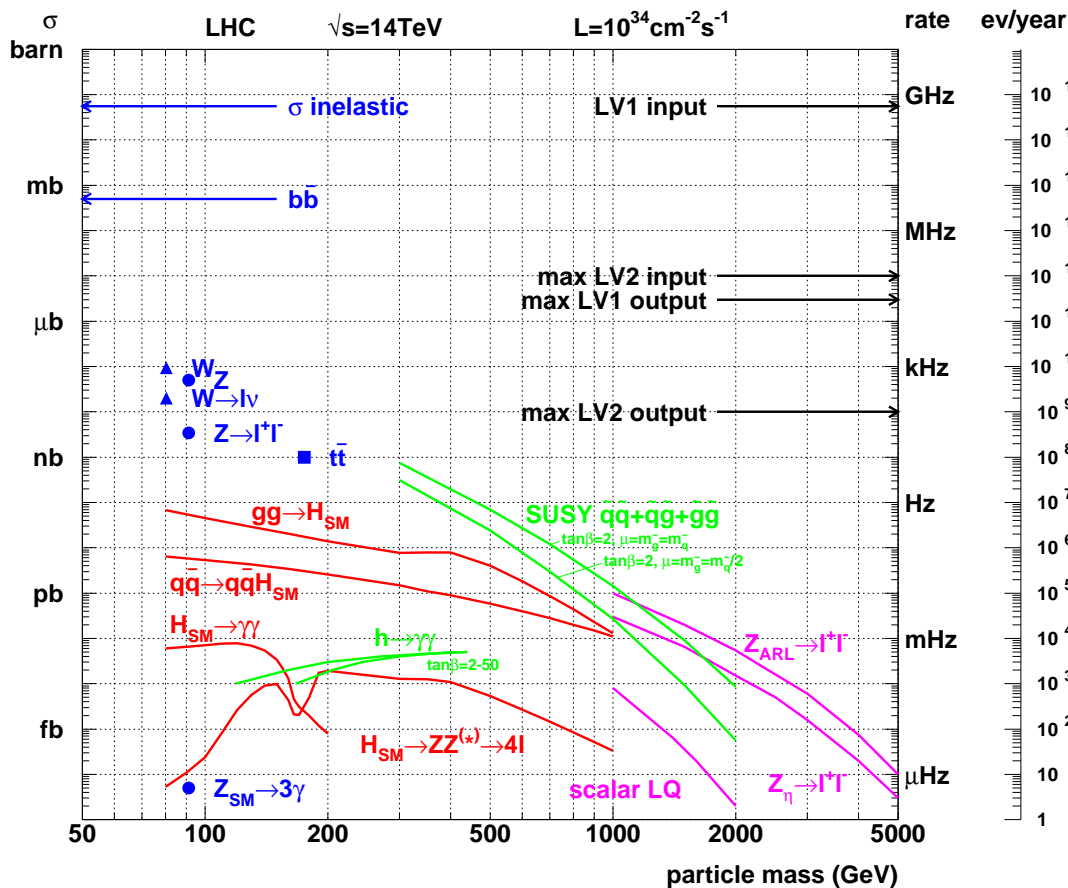


LHC, CERN, Genewa



Higgs w LHC

Cząstka Higgsa zajmuje bardzo **szczególne miejsce** w teorii i ma **szczególne własności**, jej **poszukiwanie** i **pomiar jej parametrów** jest jednym z głównych tematów badań w **LHC**



Jednak w zderzeniach pp mamy jest bardzo duże tło innych procesów, głównie z produkcją kwarków.

Bozon Higgsa rozpada się najchętniej na **najcięższe dostępne** cząstki, dla mas $m_h < 135\text{ GeV}$ dominuje rozpad na $b\bar{b}$.

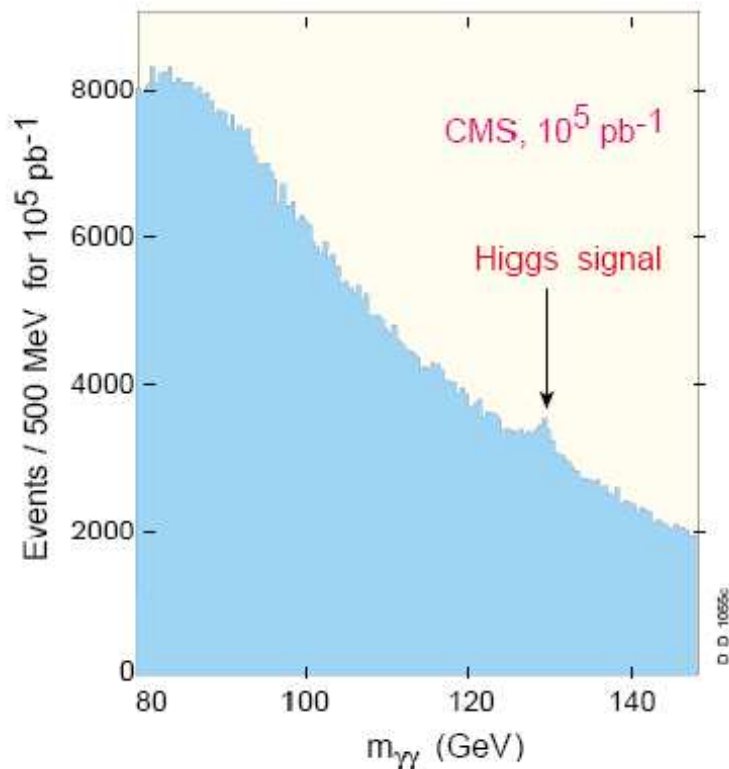
Musimy szukać kanałów o niskim tle...

Higgs w LHC

Dla małych mas najlepszy kanał to

$$H \rightarrow \gamma\gamma$$

Tło jest duże, ale powinniśmy zobaczyć Higgosa w rozkładzie **masy niezmienniczej**

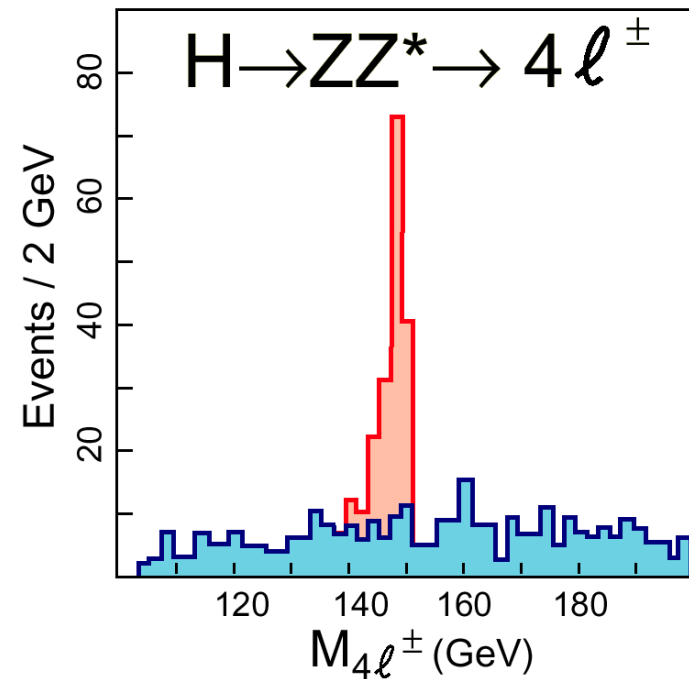


Obiecujący jest też kanał:

$$H \rightarrow Z^0 Z^0 \rightarrow l^+ l^- l^+ l^-$$

gdyż naładowane leptony (e^\pm i μ^\pm) można **łatwo zidentyfikować**.

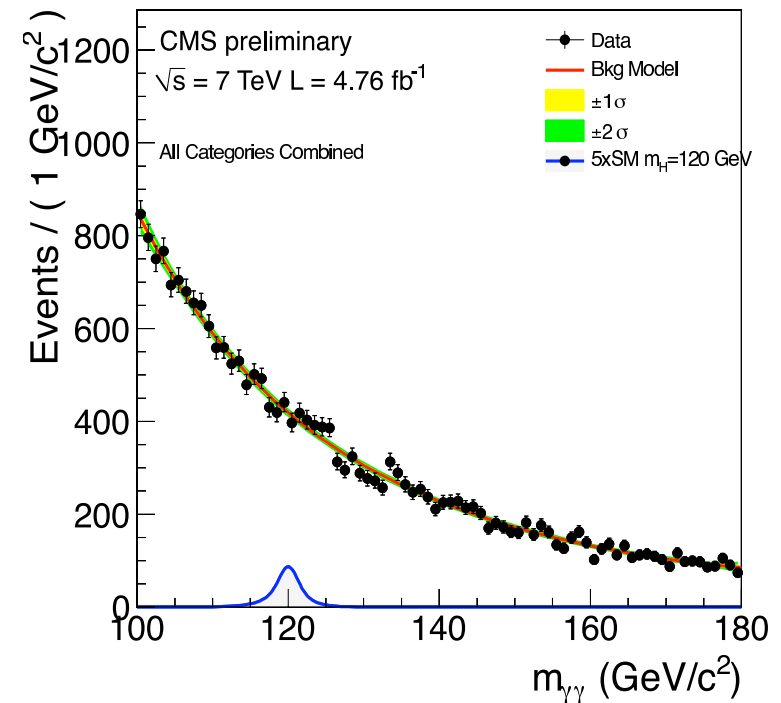
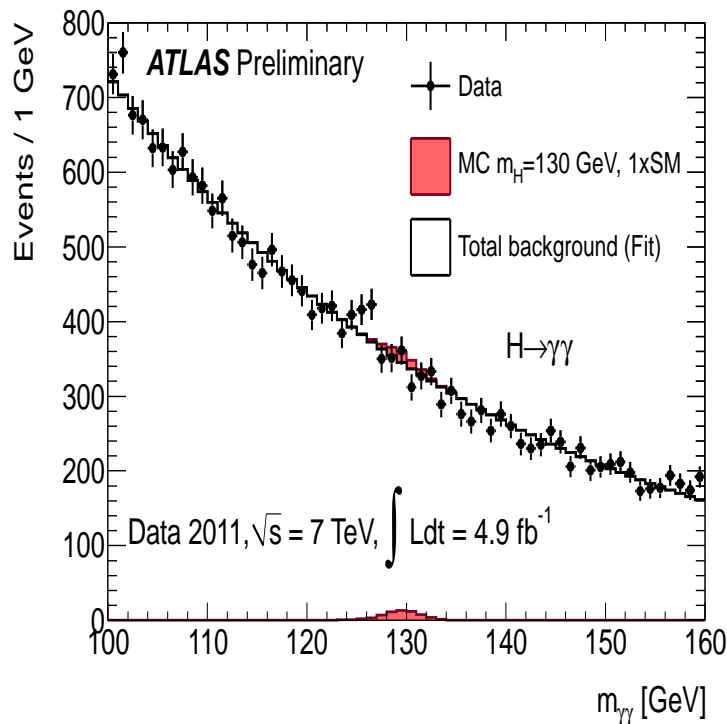
Ale jest mało przypadków...



Higgs w LHC

W grudniu 2011 eksperymenty **ATLAS** i **CMS** przy LHC przedstawiły wyniki poszukiwania bozonu Higgsa w zebranej w latach 2010-2011 próbce danych.

Niestety statystyki przypadków są bardzo małe

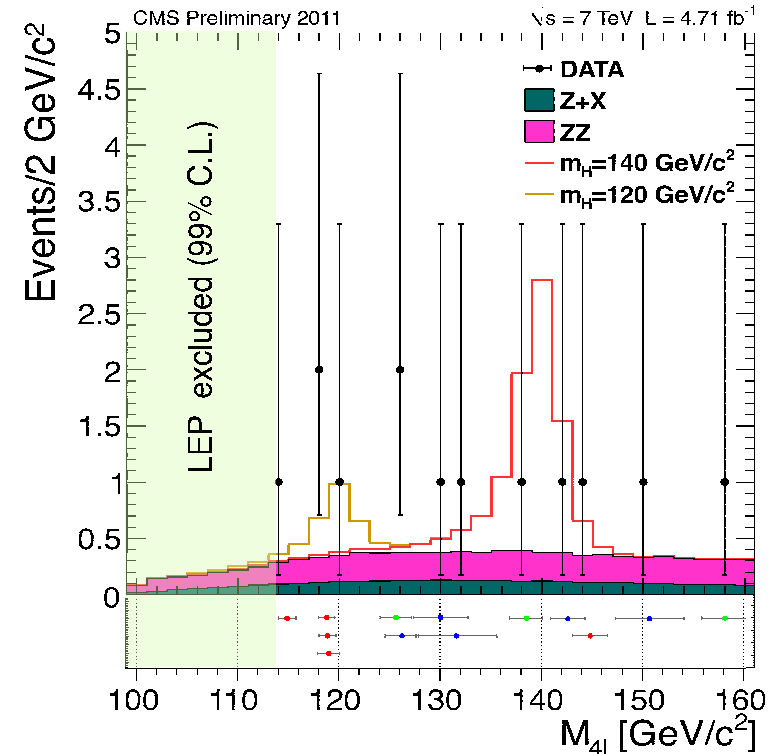
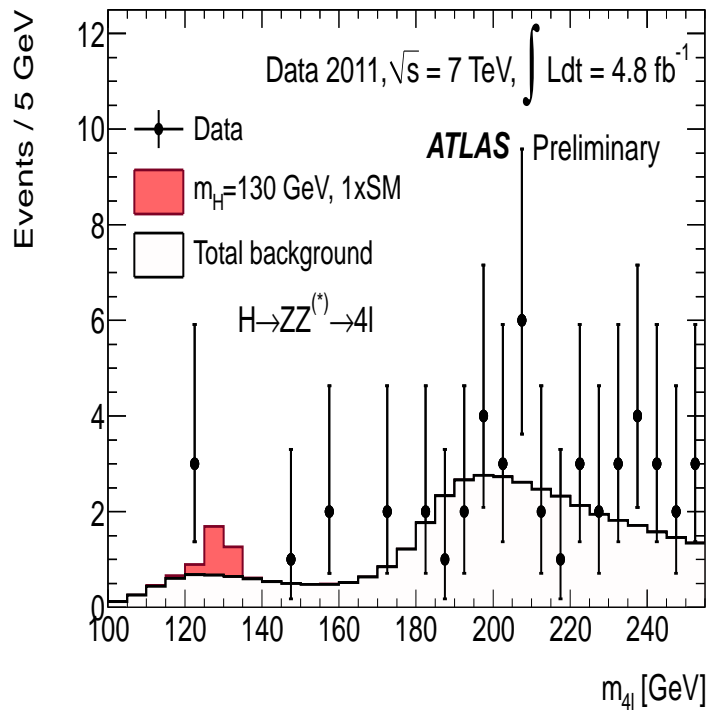


Higgs w LHC

W grudniu 2011 eksperymenty **ATLAS** i **CMS** przy LHC przedstawiły wyniki poszukiwania bozonu Higgsa w zebranej w latach 2010-2011 próbce danych.

Niestety statystyki przypadków są bardzo małe

$$H \rightarrow Z^0 Z^0 \rightarrow l^+ l^- l^+ l^-$$



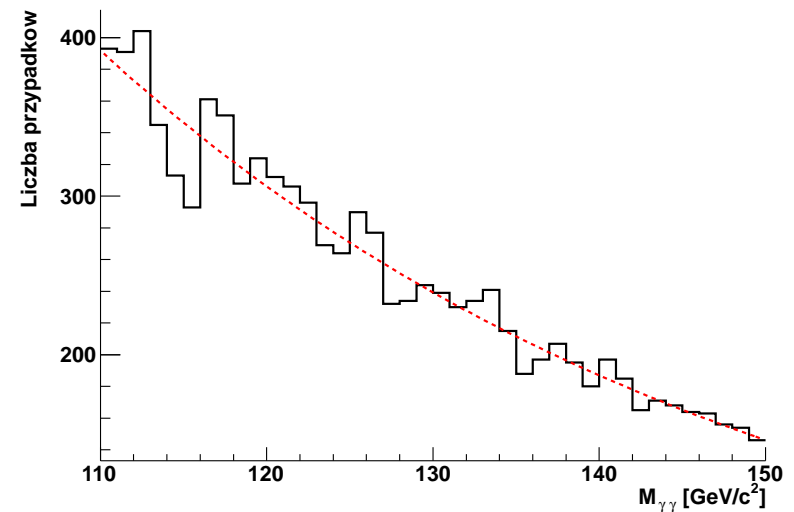
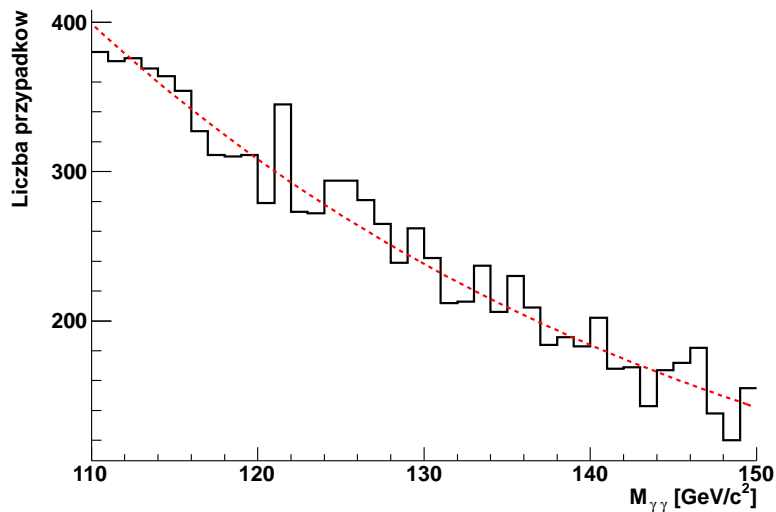
Higgs w LHC

Przy tak małych statystykach musimy być bardzo ostrożni!

Nawet jeśli dla jakiejś masy widzimy nadmiar przypadków to może to być fluktuacja statystyczna, tym bardziej prawdopodobna, że szukamy jej w szerokim zakresie mas

Ilustracja w oparciu o symulację tzw. metodą Monte Carlo

Dwie próbki po 10'000 przypadków



Gdzie jest Higgs?

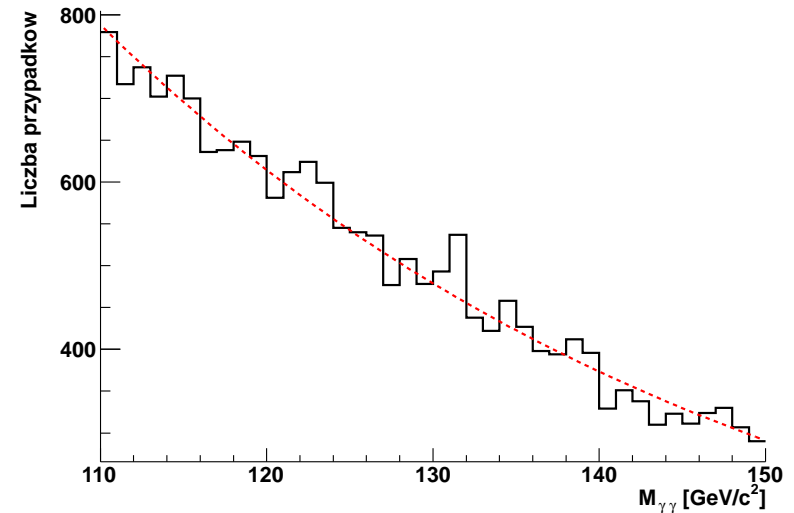
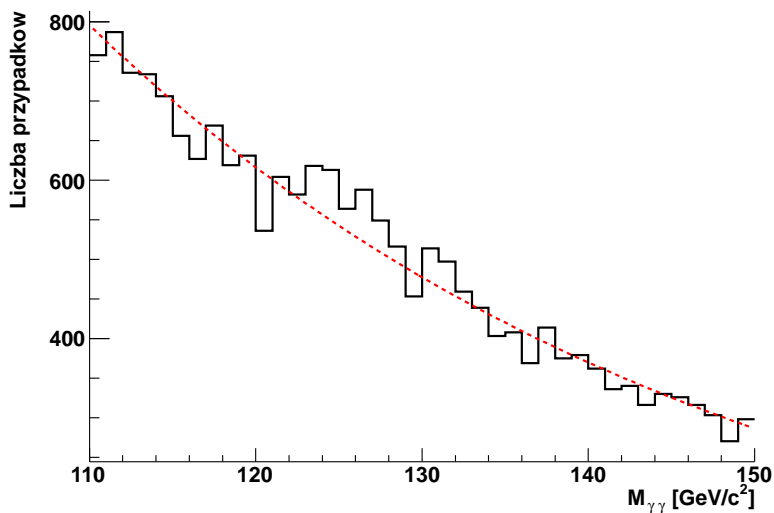
Higgs w LHC

Przy tak małych statystykach musimy być bardzo ostrożni!

Nawet jeśli dla jakiejś masy widzimy nadmiar przypadków to może to być fluktuacja statystyczna, tym bardziej prawdopodobna, że szukamy jej w szerokim zakresie mas

Ilustracja w oparciu o symulację tzw. metodą Monte Carlo

Dwie próbki po 20'000 przypadków



Gdzie jest Higgs?

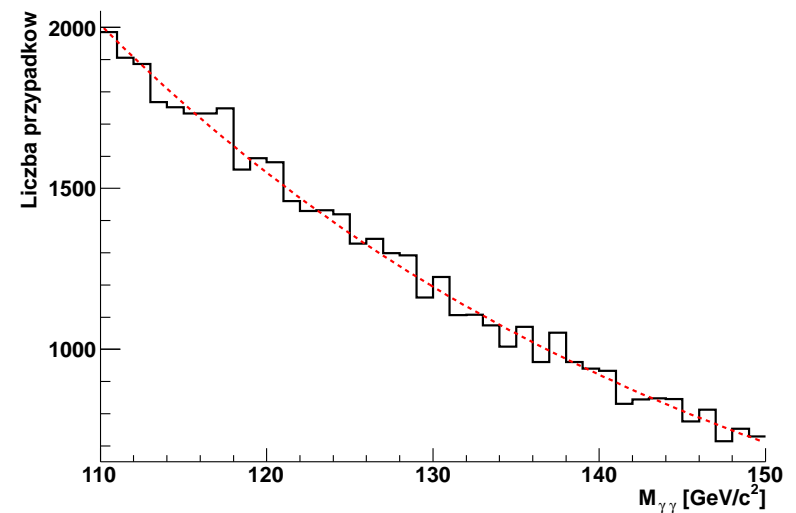
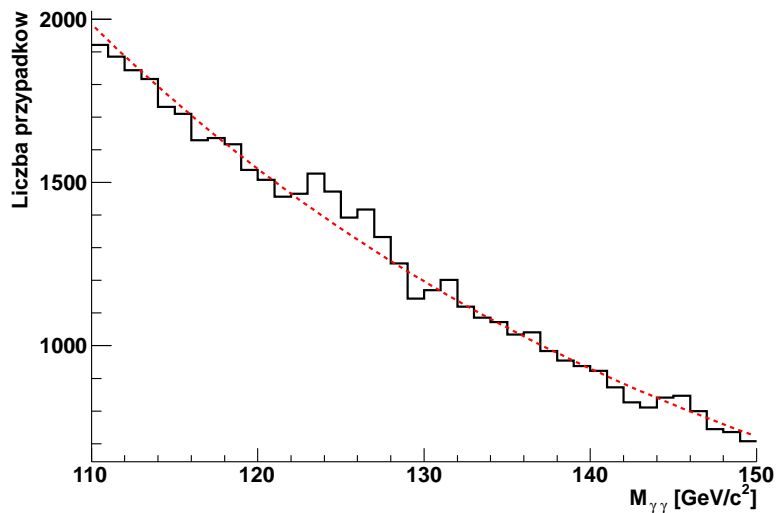
Higgs w LHC

Przy tak małych statystykach musimy być bardzo ostrożni!

Nawet jeśli dla jakiejś masy widzimy nadmiar przypadków to może to być fluktuacja statystyczna, tym bardziej prawdopodobna, że szukamy jej w szerokim zakresie mas

Ilustracja w oparciu o symulację tzw. metodą Monte Carlo

Dwie próbki po 50'000 przypadków



Gdzie jest Higgs?

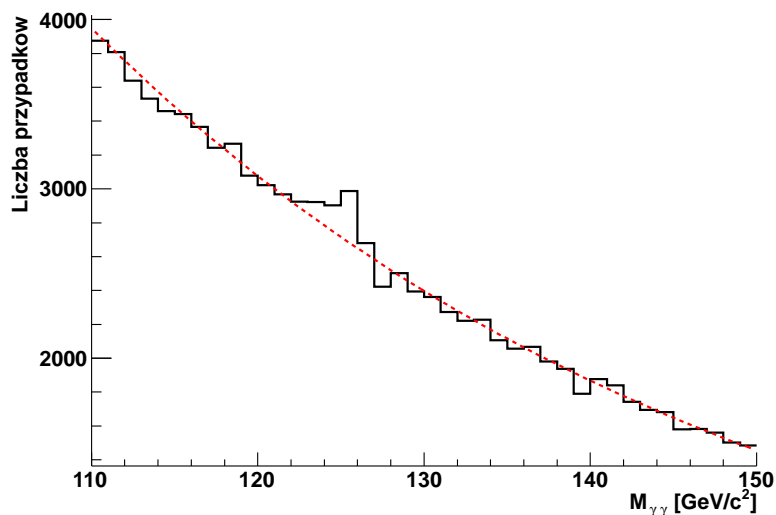
Higgs w LHC

Przy tak małych statystykach musimy być bardzo ostrożni!

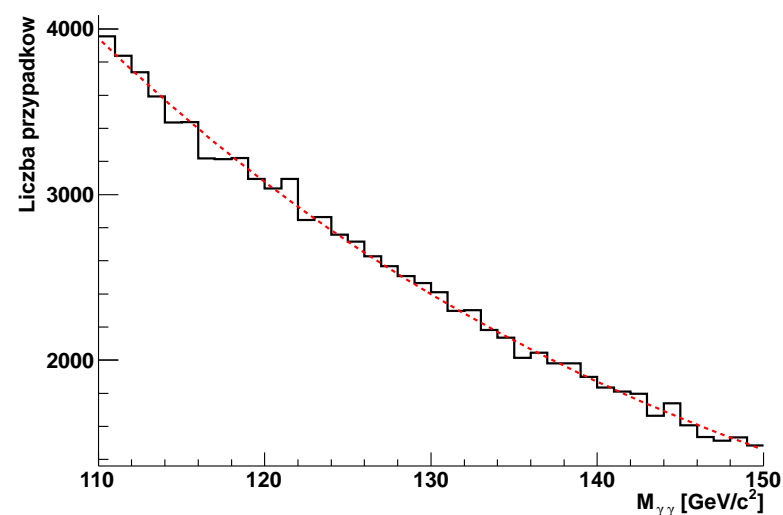
Nawet jeśli dla jakiejś masy widzimy nadmiar przypadków to może to być fluktuacja statystyczna, tym bardziej prawdopodobna, że szukamy jej w szerokim zakresie mas

Ilustracja w oparciu o symulację tzw. metodą Monte Carlo

Dwie próbki po 100'000 przypadków



1% przypadków produkcji Higgsa



samo tło

Higgs w LHC

Podsumowanie

LHC działa coraz lepiej.

W roku 2011 dostarczyło 100 razy więcej danych niż w 2010.

Wykluczono istnienie cząstki Higgsa (w ramach Modelu Standardowego) w przedziale mas od 127 do 600 GeV

Wciąż dozwolone są masy od 114 do 127 GeV

Oba eksperymenty widzą nadmiar przypadków przy masie około 125 GeV odchylenie od tła na poziomie 2.6σ w CMS i 3.6σ w ATLAS

Jednak biorąc pod uwagę szeroki zakres masy, w którym poszukiwano sygnału odchylenia “globalne” odchylenie jest na poziomie 1.9σ w CMS i 2.3σ w ATLAS

Do odkrycia wymagamy obserwacji na poziomie 5σ ...

Podsumowanie wykładu

Najważniejsze elementy wykładu.

Co starałem się Państwu pokazać/przekazać:

- uniwersalność praw fizyki \Leftrightarrow względność opisu
musimy zawsze sprawdzić warunki stosowalności przyjętego modelu
- prostotę równań ruchu
Dla fizyka są najważniejsze. Rozwiązywanie ich to już matematyka...
- potęgę praw zachowania
Dzięki nim możemy znacznie uprościć rozważane zagadnienia...
- prostota i piękno transformacji Lorentza
spójność opisu mimo wielu pozornych paradoksów
nie można być fizykiem nie rozumiejąc szczególnej teorii względności !
- związek z fizyką współczesną
Mechanika jest "fundamentem" całej fizyki...

Podsumowanie wykładu

Najważniejsze zagadnienia wymagane na egzaminie ustnym:
(na ocenę **dostateczną** i **dobrą**)

Postawy fizyki

- Budowa materii
- Układ jednostek SI, jednostki pochodne
- Fizyka klasyczna, relatywistyczna i kwantowa
- Błędy pomiarowe

Kinematyka

- Ruch, prędkość, przyspieszenie
- Ruch jednostajny, jednostajnie przyspieszony
- Ruch harmoniczny, po okręgu

Podsumowanie wykładu

Równania ruchu

- Zasady dynamiki w ujęciu Newtona
- Pojęcie układu inercjalnego
- Równania ruchu i zasada przyczynowości
rozwiązywanie prostych przykładów (klocek na równi)
- Ruch w jednorodnym polu elektrycznym i magnetycznym
- Opory ruchu
- Więzy
- Wahadło matematyczne
- Układy nieinercjalne, siła odśrodkowa i siła Coriolisa

Podsumowanie wykładu

Prawa zachowania

- Zasady zachowania pędu i momentu pędu
- Zderzenia niesprężyste
- Siły zachowawcze i zasada zachowania energii
- Zderzenia elastyczne
- Prawa Keplera, tory ruchu w polu sił centralnych
- Ruch ciała o zmiennej masie
- Zderzenia niecentralne
- Doświadczenie Rutherforda

Podsumowanie wykładu

Bryła sztywna

- Równowaga bryły sztywnej
- Dynamika ruchu wokół ustalonej osi:
moment bezwładności, równania ruchu, energia ruchu,
rozwiązywanie prostych zagadnień, np. walec na równi pochyłej
- Żyroskop i precesja
- Tensor momentu bezwładności, osie główne

Podsumowanie wykładu

Szczególna Teoria Względności

- Transformacja położenia i czasu
- Dylatacja czasu i skrócenie Lorentza
- Interwał czasoprzestrzenny i przyczynowość
- Pęd i energia cząstki relatywistycznej
- Transformacja energii i pędu, masa niezmiennicza
- Wykres Minkowskiego
- Paradoks bliźniąt
- Zderzenia relatywistyczne, rozpady cząstek
- Foton jako cząstka, efekt Dopplera

Egzamin

Uzyskanie pozytywnej oceny końcowej z wykładu możliwe jest po pozytywnym zaliczeniu części rachunkowej i zdaniu egzaminu **teoretycznego**.

Część rachunkowa

Zaliczenie części rachunkowej odbywa się na podstawie **obecności** na ćwiczeniach, dwóch kolokwiów, punktów asystenta i części rachunkowej egz. pisemnego.

- **Obecność na ćwiczeniach obowiązkowa.**
- W ramach kolokwiów: po 3 zadania rachunkowe, maksymalnie po 5 punktów.
- Dodatkowo, w ramach kolokwiów: po 5 pytań testowych

Dopuszczenie do egzaminu pisemnego: przynajmniej 15 punktów z kolokwiów.

- Egzamin pisemny: 4 zadania rachunkowe, maksymalnie po 5 punktów.

Do zaliczenia konieczne jest uzyskanie łącznie przynajmniej 25 punktów.

Egzamin

Egzamin pisemny

W dniu 30 stycznia 2012, godz. 8³⁰ – 13⁰⁰,

Sala Duża Doświadczalna + Aula + Adula DF (Smyczkowa)

Listy imienne osób dopuszczonych do egzaminu będą wywieszane w internecie.

Miejsca na salach będą numerowane, tak jak na kolokwiach.

Bardzo prosimy o wcześniejsze sprawdzenie przydzielonej sali i punktualne przybycie!

Egzamin będzie się składał z dwóch części:

- test “teoretyczny” ⇒ 45 minut
- krótka przerwa
- 4 zadania rachunkowe ⇒ 3 godziny 30 minut

Egzamin

Test “teoretyczny” tak jak na kolowjach

30 pytań z materiału przedstawionego na wykładach
(teoria, wzory, proste problemy rachunkowe)

W miarę możliwości równomiernie rozłożonych tematycznie (2-3 pytania na wykład)

Do każdego pytania 4 odpowiedzi, z czego **dokładnie jedna** prawidłowa.

Punktacja:

- dobra odpowiedź $\Rightarrow +1$
- zła odpowiedź $\Rightarrow -0.5$ (losowe skreślanie nie opłaca się)

Zadania rachunkowe tak jak na kolowjach

4 zadania z całego materiału przerabianego na ćwiczeniach

Materiał obowiązujący do obu kolokwiów (2 zadania)

+ teoria względności (2 zadania)

Egzamin

Zaliczenie części rachunkowej

Do egzaminu pisemnego dopuszczone będą tylko te osoby, które z kolokwiów uzyskały przynajmniej 15 punktów.

W przeciwnym wypadku, część rachunkowa egzaminu pisemnego będzie traktowana jako kolokwium poprawkowe (osoby te nie piszą testu).

W obu przypadkach warunkiem jest też wymagana obecność na ćwiczeniach.

Do zaliczenia części rachunkowej konieczne jest uzyskanie łącznie (kolokwia + część rachunkowa egzaminu) przynajmniej 25 punktów.

Zaliczenie części rachunkowej jest niezbędne do zdania egzaminu!

Osoby, które z kolokwiów uzyskały nie mniej niż 15 punktów, ale miały zbyt dużo nieobecności na ćwiczeniach będą dopuszczone do egzaminu w sesji poprawkowej.

Egzamin

Po porównaniu wyników części rachunkowej (+kolokwia)
oraz wyniku testu \Rightarrow propozycja oceny

Egzamin ustny 2 i 3 lutego,

Tylko dla osób, które zaliczyły część rachunkową,
w przypadku gdy:

- wyniki nie pozwalają na jednoznaczną ocenę
lub
- chcą poprawić zaproponowaną ocenę
poprawiając wyniki testu teoretycznego
- nie ma możliwości poprawienia oceny w przypadku
złych wyników obu części (rachunkowej i teoretycznej)

Egzamin poprawkowy

Egzamin pisemny

W dniu 27 luty 2012 (poniedziałek), godz. 8⁰⁰ – 12¹⁵

Organizacja jak w pierwszym terminie...

Egzamin ustny

Prawdopodobnie 1 i 2 marca...

Ankiety

Jeszcze przez tydzień (do niedzieli 22 stycznia) w USOSie są dostępne do wypełnienia ankiety studenckie.

Prosimy o ocenę zarówno wykładu jak i ćwiczeń rachunkowych.

Szczególnie cenne są państwa komentarze.

Wśród osób wypełniających ankiety zostaną rozlosowane nagrody (zaproszenia do teatru lub filharmonii).



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Projekt współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego