



KAPITAŁ LUDZKI
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI



UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI
FUNDUSZ SPOŁECZNY



Podsumowanie

Fizyka I (Mechanika)

Wykład XIV:

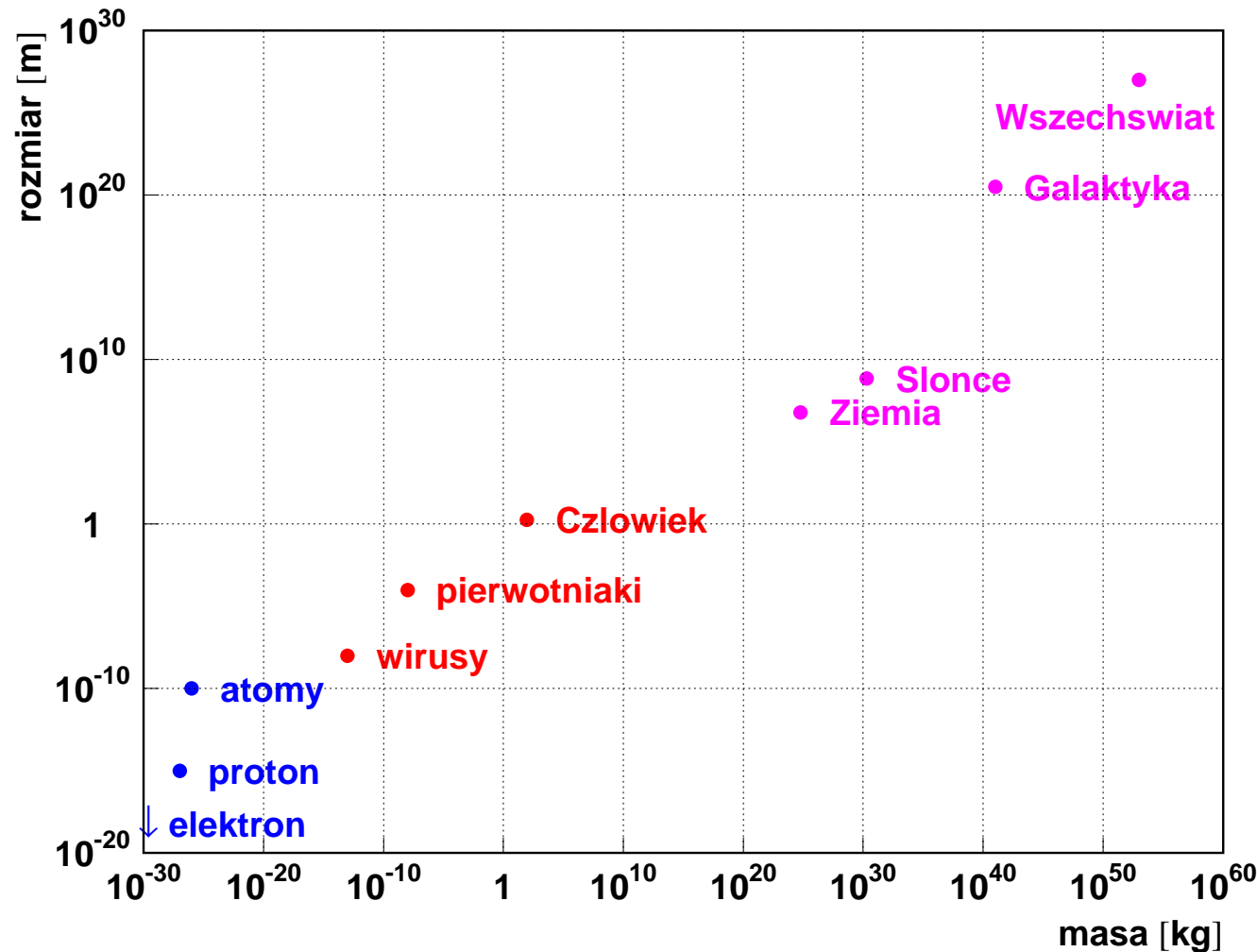
- Cząstki elementarne
- Ewolucja Wszechświata
- Ciemna materia

- Informacje o egzaminie

Czym zajmuje się fizyka ?

Staramy się zrozumieć zjawiska zachodzące na najmniejszych i największych odległościach...

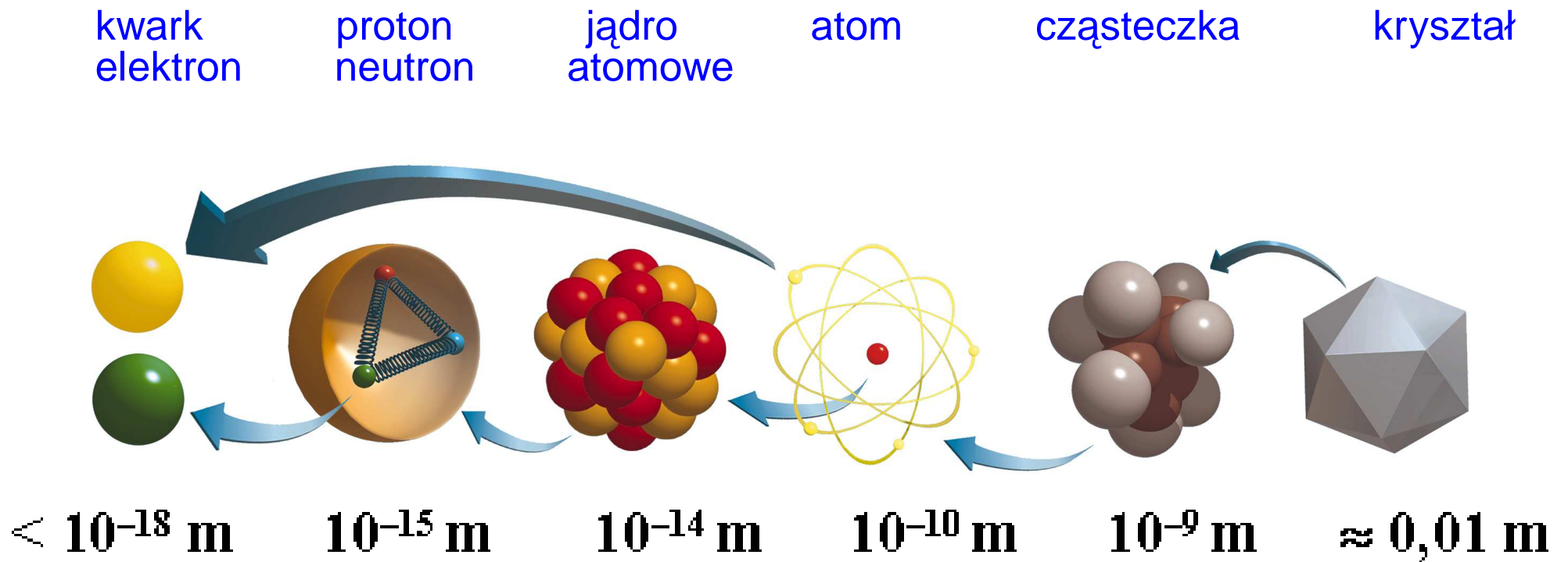
Szukamy praw opisujących zachowanie najmniejszych cząstek elementarnych oraz ewolucję wszechświata...



Co może łączyć procesy zachodzące na tak różnych skalach?

Fizyka cząstek

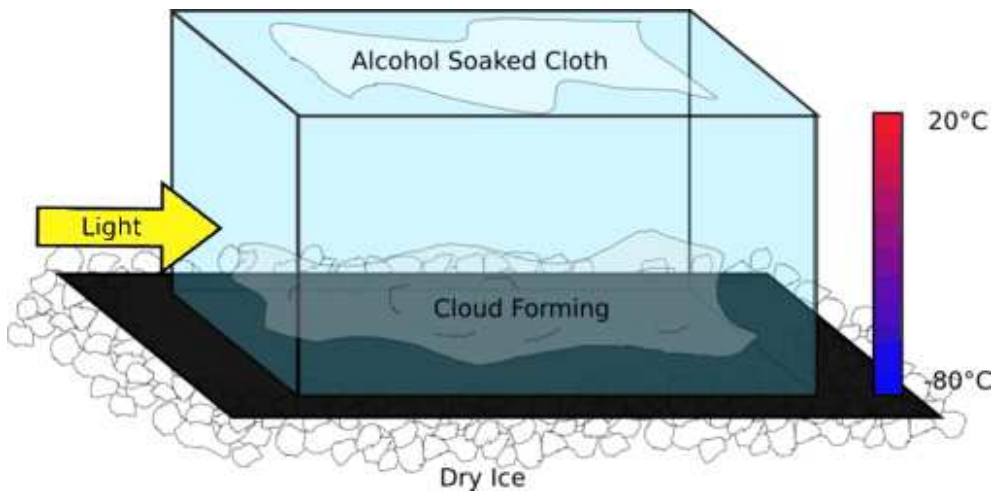
Budowa materii



Fizyka cząstek

Pokaz: komora mgłowa (Komora Wilsona)

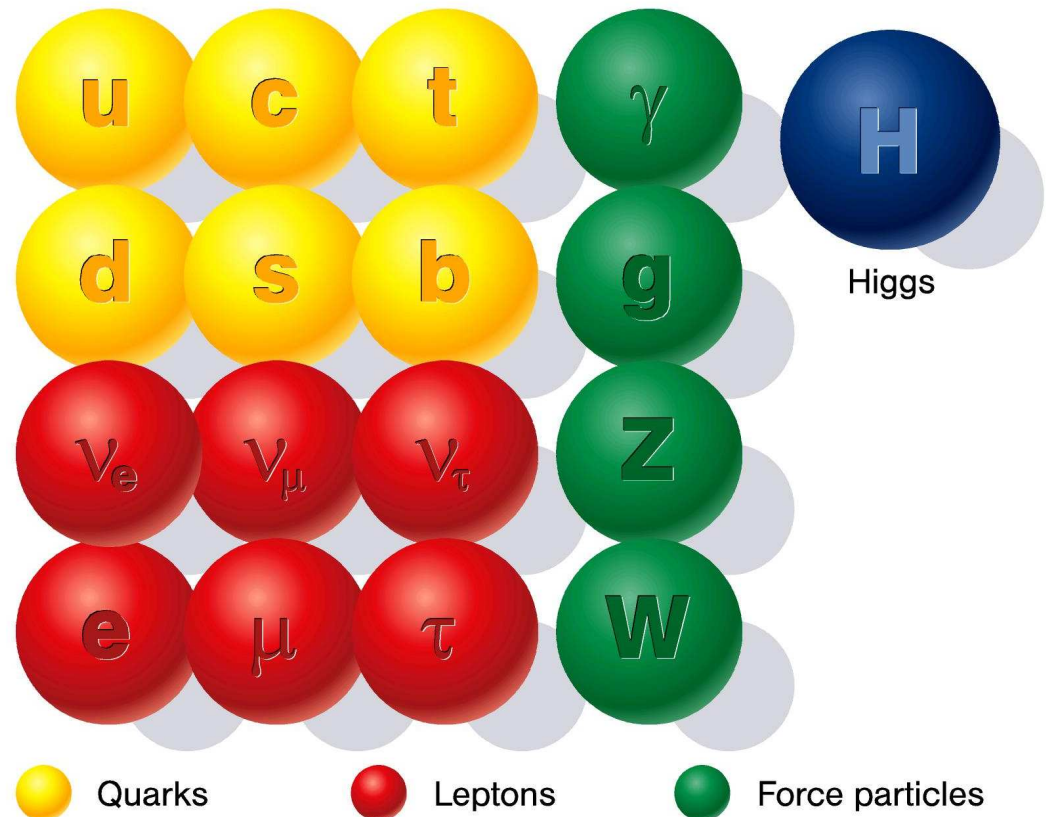
Tuż nad dnem komory pary alkoholu wchodzą w stan **przechłodzenia**. Gdy przez komorę przejdzie **naładowana cząstka**, na powstałych jonach powietrza następuje **kondensacja** par alkoholu i w rezultacie obserwujemy smugę mgły układającą się wzdłuż **toru cząstki**. Obserwację mgły ułatwia właściwe oświetlenie.



Fizyka cząstek

Model Standardowy

- cząstki materii
kwarki i leptony
- nośniki oddziaływań
 γ , g , W^\pm i Z^0
- bozon Higgsa
konieczny dla
spójności modelu
“Nadaje masy”
wszystkim cząstkom



Dlaczego trzy pokolenia ?

Czy jest to pełny obraz?

Czy może czegoś wciąż brakuje?

Fizyka cząstek

Zasady zachowania

Relatywistyczne wyrażenie na pęd cząstki:

$$\vec{p} = m c \gamma \vec{\beta} = m \gamma \vec{V} \quad \vec{\beta} = \frac{\vec{V}}{c}$$

Relatywistyczne wyrażenia na energię cząstki:

energia kinetyczna	$E_k = m c^2 (\gamma - 1)$
energia spoczynkowa	$E_0 = m c^2$
energia całkowita	$E = m c^2 \gamma$

Dla dowolnego izolowanego układu obowiązują zawsze:

$$\sum_i E_i = \sum_i \gamma_i m_i c^2 = \text{const} \quad \text{zasada zachowania energii}$$

$$\sum_i \vec{p}_i = \sum_i \gamma_i \cdot m_i \vec{V}_i = \text{const} \quad \text{zasada zachowania pędu}$$

Nie jest zachowana masa (energia spoczynkowa) !!!

Fizyka cząstek

Energia dostępna

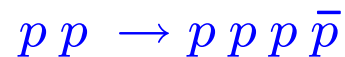
Masę niezmienniczą zderzających się cząstek \sqrt{s} określamy też jako **energię dostępną** w układzie środka masy.

Energia dostępna jest to część energii kinetycznej, która może zostać zamieniona na **masę** (energię spoczynkową) **nowych cząstek**.

$$\sqrt{s} = \sqrt{\left(\sum_i E_i\right)^2 - \left(\sum_i \vec{p}_i\right)^2}$$

Przykład

Aby wyprodukować antyproton w reakcji



musimy mieć

$$\sqrt{s} \geq 4 m_p$$

⇐ liczymy wszystkie cząstki w stanie końcowym, także cząstki pierwotne

Fizyka cząstek

Określoną wartość energii dostępnej \sqrt{s} możemy uzyskać na różne sposoby:

Zderzenia z tarczą

Cząstka “pocisk” o energii E uderza w nieruchomą tarczę:

$$s = 2 E_1 m_2 + m_1^2 + m_2^2$$

w granicy $E_1 \gg m_1 \sim m_2$

$$\sqrt{s} \approx \sqrt{2 E_1 m_2}$$

Wiązki przeciwbieżne

Zderzenia wiązek o energiach E_1 i E_2 :

$$s = 2 E_1 E_2 + 2 p_1 p_2 + m_1^2 + m_2^2$$

w granicy $E_1 \sim E_2 \gg m_1 \sim m_2$

$$\sqrt{s} \approx \sqrt{4 E_1 E_2}$$

Dużo wyższe wartości !!!

Przykład

Wiązka protonów o energii 50 GeV ($\approx 50 m_p$)

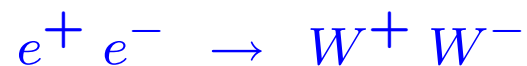
- na **tarczy** wodorowej (protony): $\sqrt{s} \approx \sqrt{2 E m_p} \approx 10 \text{ GeV} \approx 10 m_p$
- dwie **wiązki przeciwbieżne**: $\sqrt{s} \approx \sqrt{4 E \cdot E} = 2 E = 100 \text{ GeV} \approx 100 m_p$

Fizyka cząstek

08/07/2001

Produkcja nowych cząstek

Aby w zderzeniu dwóch cząstek powstały dwie lub więcej nowych cząstek, np:

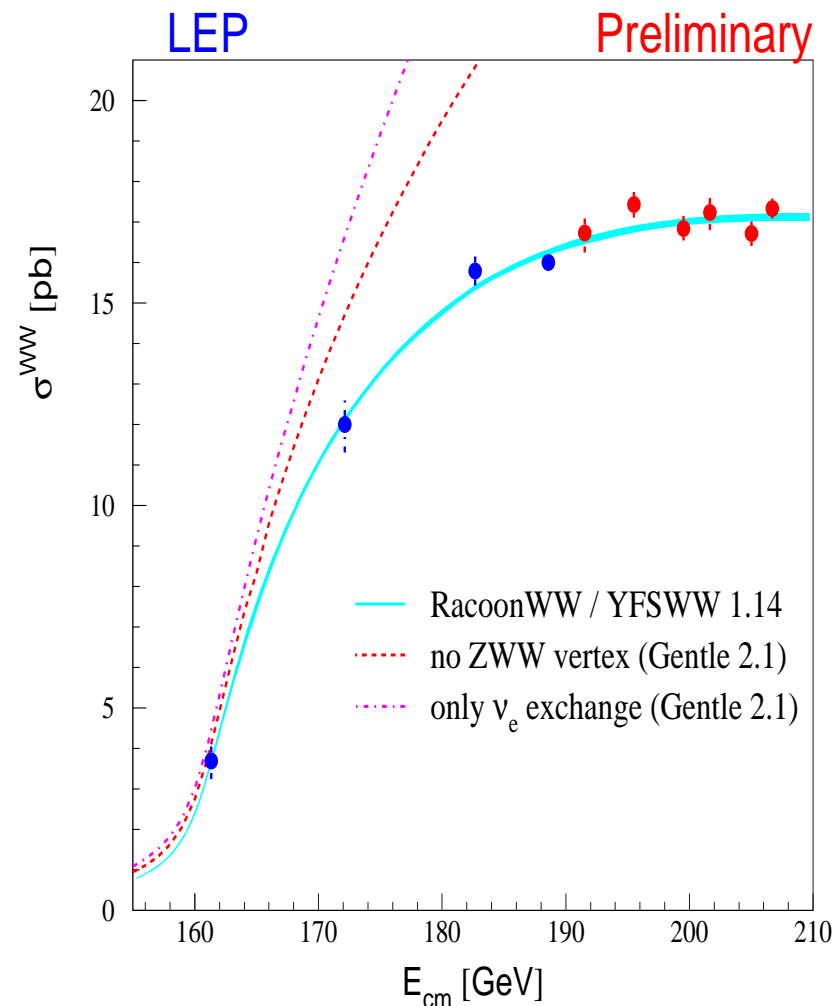


masa niezmiennicza zderzających się cząstek musi być większa lub równa **sumie mas** produkowanych cząstek:

$$\sqrt{s} \geq \sum_i m_i$$

Mierzony przekrój czynny $e^+ e^- \rightarrow W^+ W^- \Rightarrow$

$$\sqrt{s} \geq 2 m_W \approx 160 \text{ GeV}$$

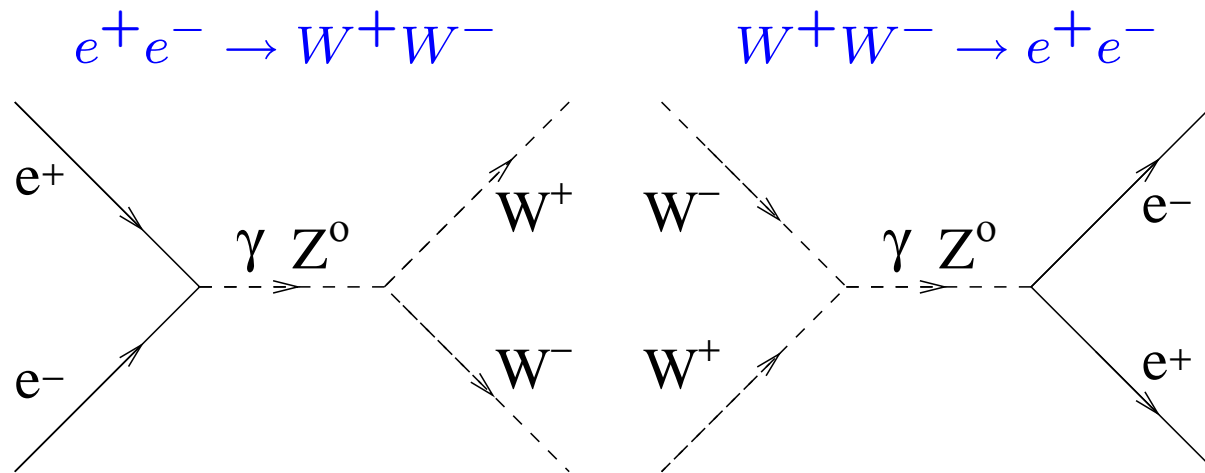


Fizyka cząstek

Produkcja nowych cząstek

Jeśli dysponujemy odpowiednio **wysokimi energiami** wiązek możemy teoretycznie wyprodukować dowolnie **ciężką cząstkę** (jeśli tylko podlega znanym oddziaływaniom).

Ale możliwa jest też sytuacja odwrotna: **ciężkie cząstki** mogą **anihilować** i produkować inne, lżejsze. Jeśli energie są znacznie większe od mas, oba procesy zachodzą z **porównywalnym prawdopodobieństwem**.



Kosmologia

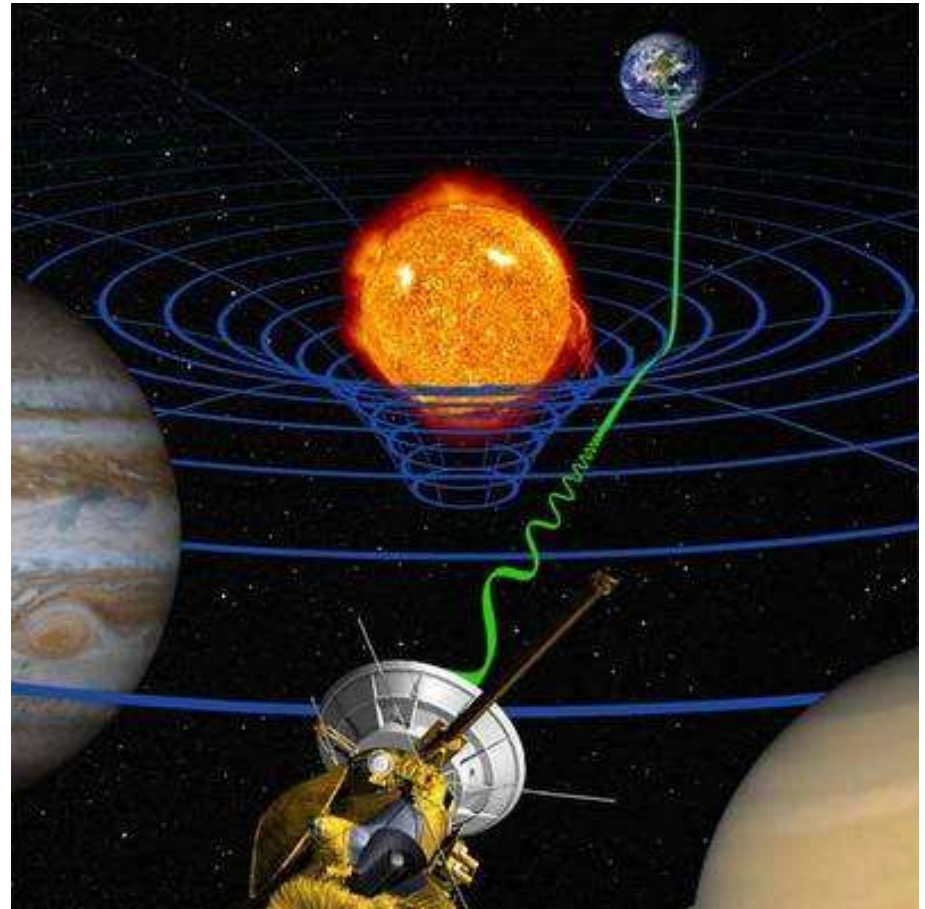
Ogólna Teoria Względności

W 1916 Einstein zaproponował nowe podejście do opisu grawitacji.

Grawitacja nie jest już opisywana jako siła, ale jako **odkształcenie czasoprzestrzeni!**

Materia powoduje **zakrzywienie czasoprzestrzeni**.

Zakrzywienie czasoprzestrzeni decyduje o ruchu **materii**.



Problem teorii Einsteina: nie istniało statyczne rozwiązanie.

Kosmologia

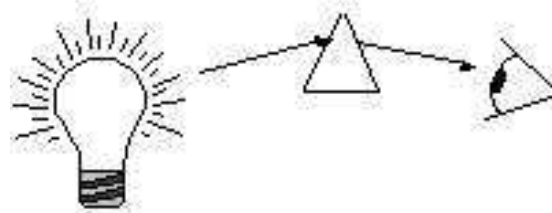
Efekt Dopplera

Zmiana długości fali światła emitowanego przez ruchome źródło.

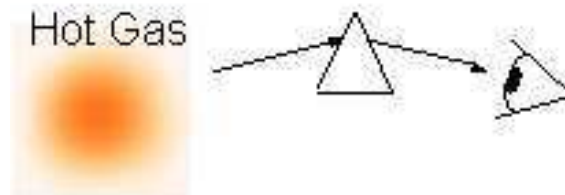
Duże znaczenie we współczesnych obserwacjach astronomicznych

Linie emisyjne

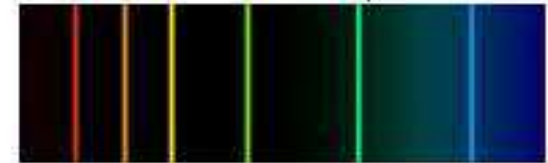
Światło emitowane przez wzbudzone atomy.



Continuum Spectrum

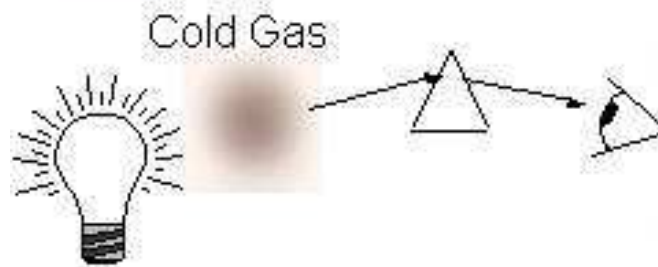


Emission Line Spectrum

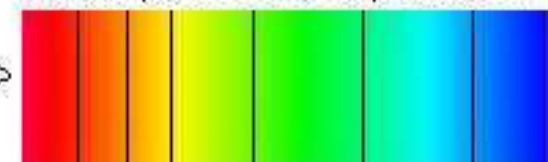


Linie absorpcyjne

Widoczne w świetle przechodzącym przez gaz.



Absorption Line Spectrum



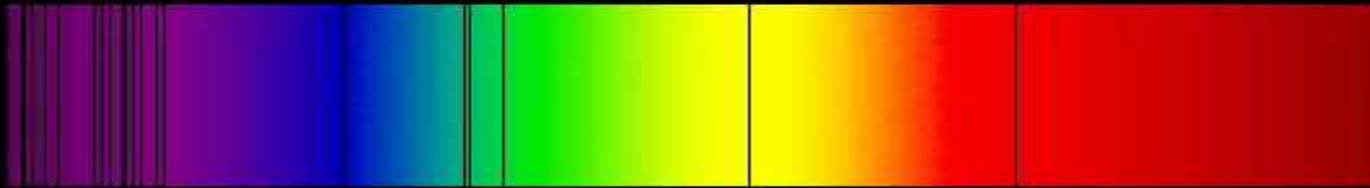
W obu przypadkach pozycja linii jest ściśle określona (dla danego atomu)

Kosmologia

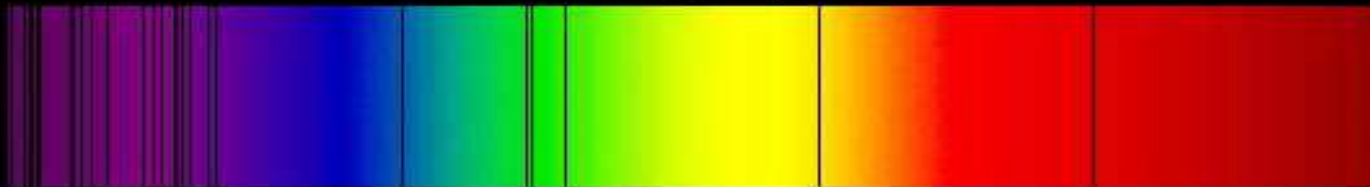
Efekt Dopplera

Mierząc linie absorpcyjne w widmie galaktyk możemy wnioskować o ich ruchu i **wyznaczyć ich prędkość względem nas**

Absorption Lines from our Sun



Absorption Lines from a supercluster of galaxies, BAS11
 $v = 0.07 c$, $d = 1$ billion light years



Kosmologia

Prawo Hubble'a

Dzięki efektowi Dopplera wiemy, że **Wszechświat się rozszerza**.

W 1929 roku **Edwin Hubble** jako pierwszy powiązał obserwowane prędkości mgławic z ich odległością od Ziemi.

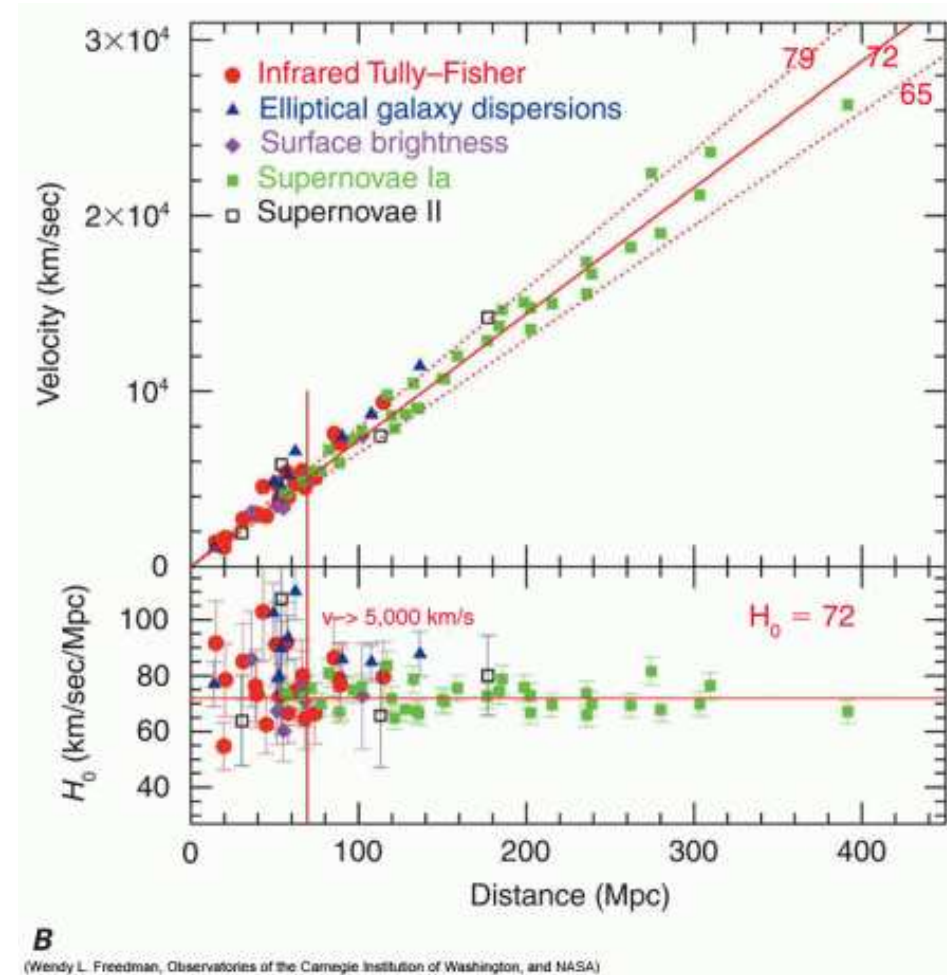
Zauważył on, że **prędkość** 'ucieczki' **rośnie z odległością** od Ziemi:

$$v = H \cdot r$$

r - odległość, H - stała Hubble'a

Obecne pomiary: $H \sim 72 \text{ km/s/Mpc}$

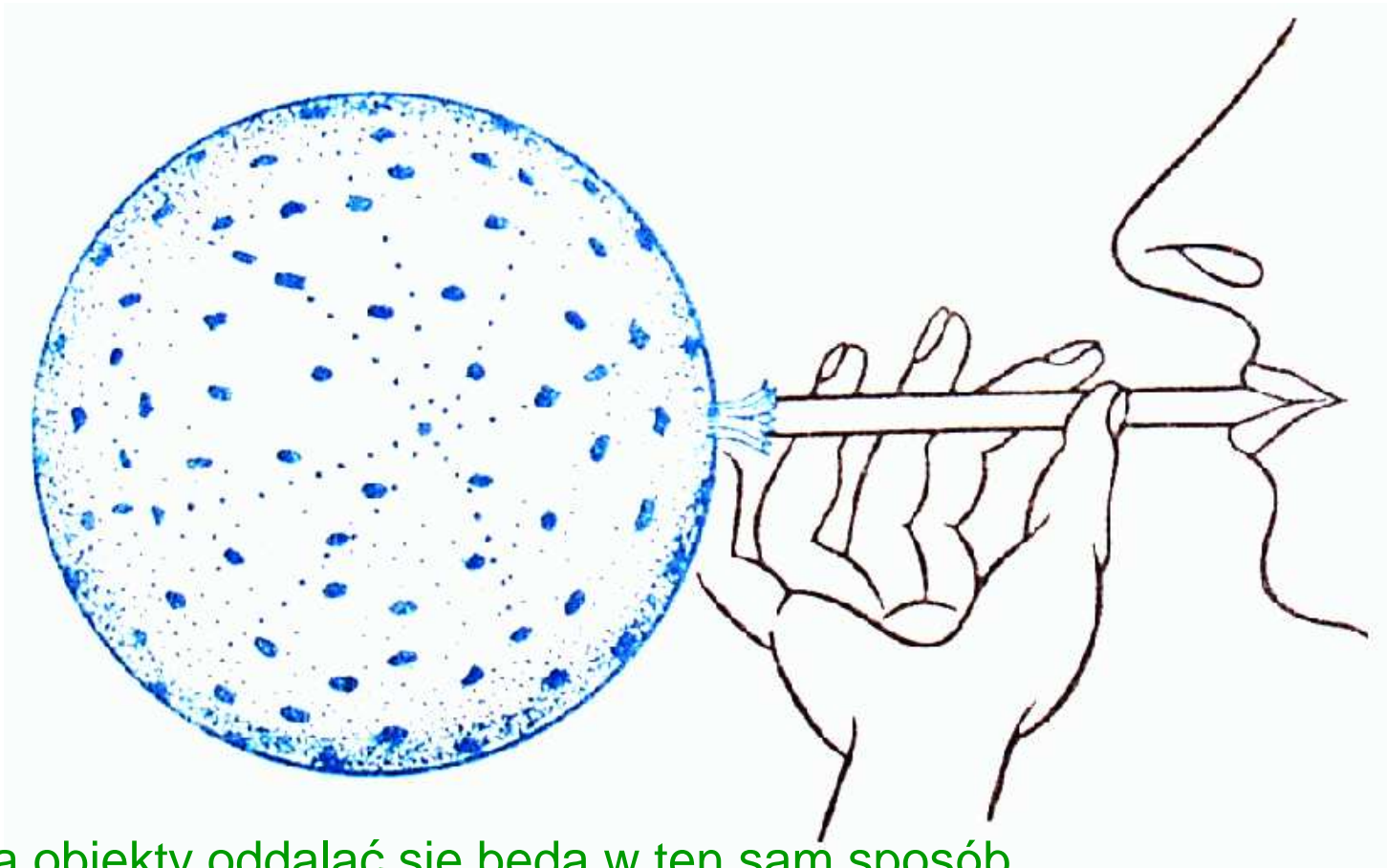
$$1 \text{ Mpc} \approx 3 \cdot 10^{22} \text{ m}$$



Kosmologia

Prawo Hubble'a

Obserwacja Hubble'a, że **wszystkie** obiekty oddalają się, **nie wyróżnia** w żaden sposób naszego układu odniesienia.



Dowolne dwa obiekty oddalać się będą w ten sam sposób.

Kosmologia

Ewolucja Wszechświata

Kosmologia zajmuje się opisem Wszechświata na odległościach większych od rozmiarów wszystkich znanych nam struktur \Rightarrow "skala kosmologiczna"

Zasada kosmologiczna: w skalach kosmologicznych Wszechświat traktujemy jako **jednorodny** i **izotropowy** \Rightarrow **materia** jest rozłożona **równomiernie**

Obserwowany ruch względny na tych odległościach opisujemy jako **rozszerzanie się całego Wszechświata**, w którym "zawieszony" są poszczególne obiekty.

Przy tych założeniach potrafimy rozwiązać problem **ewolucji Wszechświata**, opisanej przez równania Einsteina.

Obserwowane obecnie rozszerzanie się Wszechświata wskazuje, że musiał on ewoluować z **punktowego skupiska nieskończonej energii...**

Kosmologia

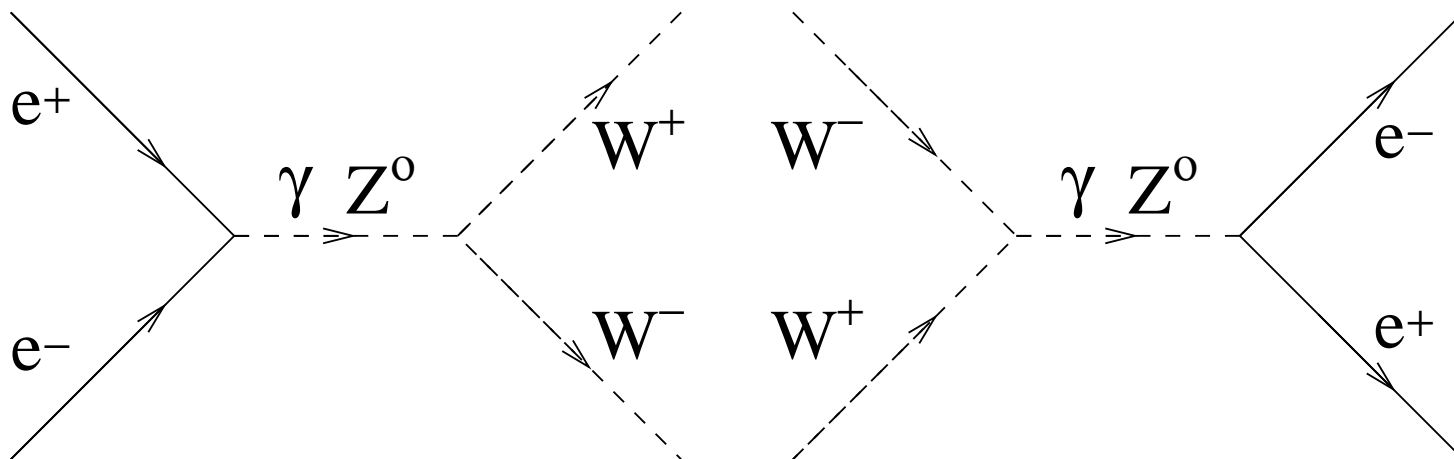
Ewolucja Wszechświata

Na samym początku **gęstość energii** była bardzo duża.

Na poziomie cząstek oznacza to, że cząstki miały bardzo duże **energie kinetyczne**, znacznie większe od ich mas.

Nie istniały żadne obiekty złożone (**nukleony, jądra atomowe, atomy**), gdyż energie były znacznie większe od energii wiązania.

Wszystkie cząstki elementarne znajdowały się w **stanie równowagi**, gdyż nieustannie zachodziły procesy **anihilacji i kreacji**.

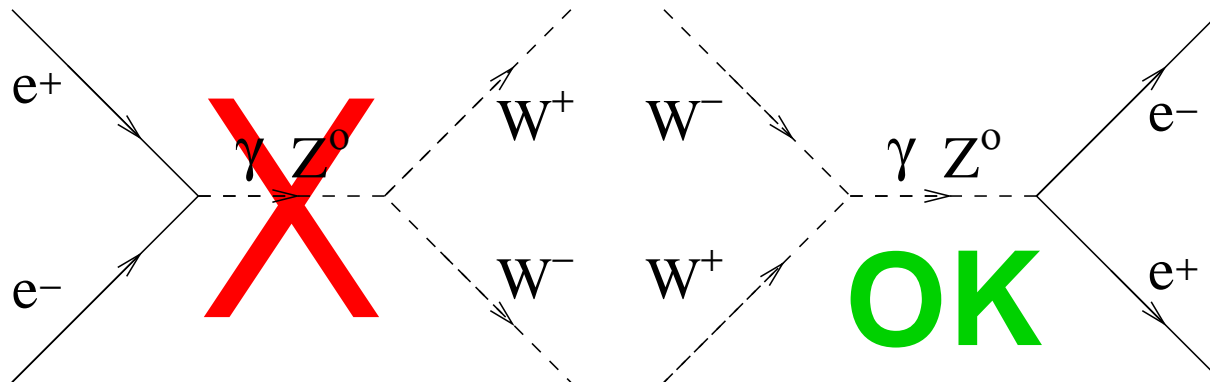


Kosmologia

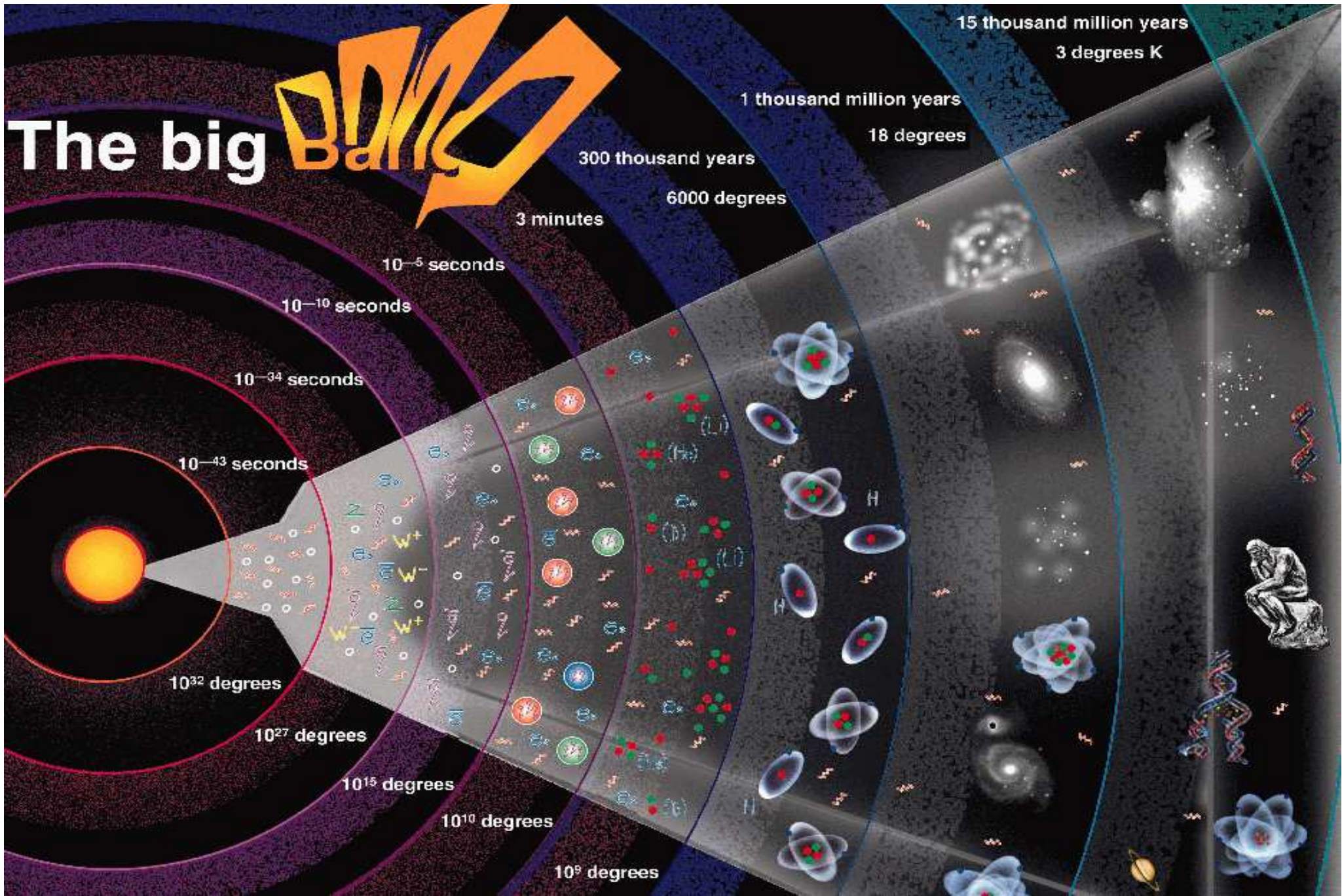
Ewolucja Wszechświata

Jednak w miarę rozszerzania Wszechświata **energie cząstek malały...**

Stopniowo przestają być produkowane i **zanikają najcięższe cząstki**,
a zaczynają powstawać **stany związane**:



- znikają swobodne bozony W^{\pm} i Z^0 (10^{-10} sekundy)
- kwarki formują neutrony i protony (10^{-5} sekundy)
- protony i neutrony tworzą jądra lekkich pierwiastków (3 minuty)
- elektrony i jądra tworzą atomy (300 000 lat)
- formacja galaktyk, gwiazdy, synteza ciężkich pierwiastków (1 Gy)



Kosmologia

Gęstość materii

Charakter ewolucji i przyszłość Wszechświata zależą od gęstości materii.

Można spróbować ją zmierzyć na różne sposoby:

- z pomiaru promieniowania gwiazd i materii międzygwiazdnej
⇒ materia “światlista”

$$\Omega_{lumi} \sim 0.006$$

- z pomiaru zawartości lekkich pierwiastków + model nukleosyntezy (Wielki Wybuch)
⇒ materia “barionowa”

$$\Omega_b \sim 0.04$$

- z pomiaru oddziaływań grawitacyjnych (np. rotacja galaktyk)
⇒ materia “grawitacyjna” (całkowita ?)

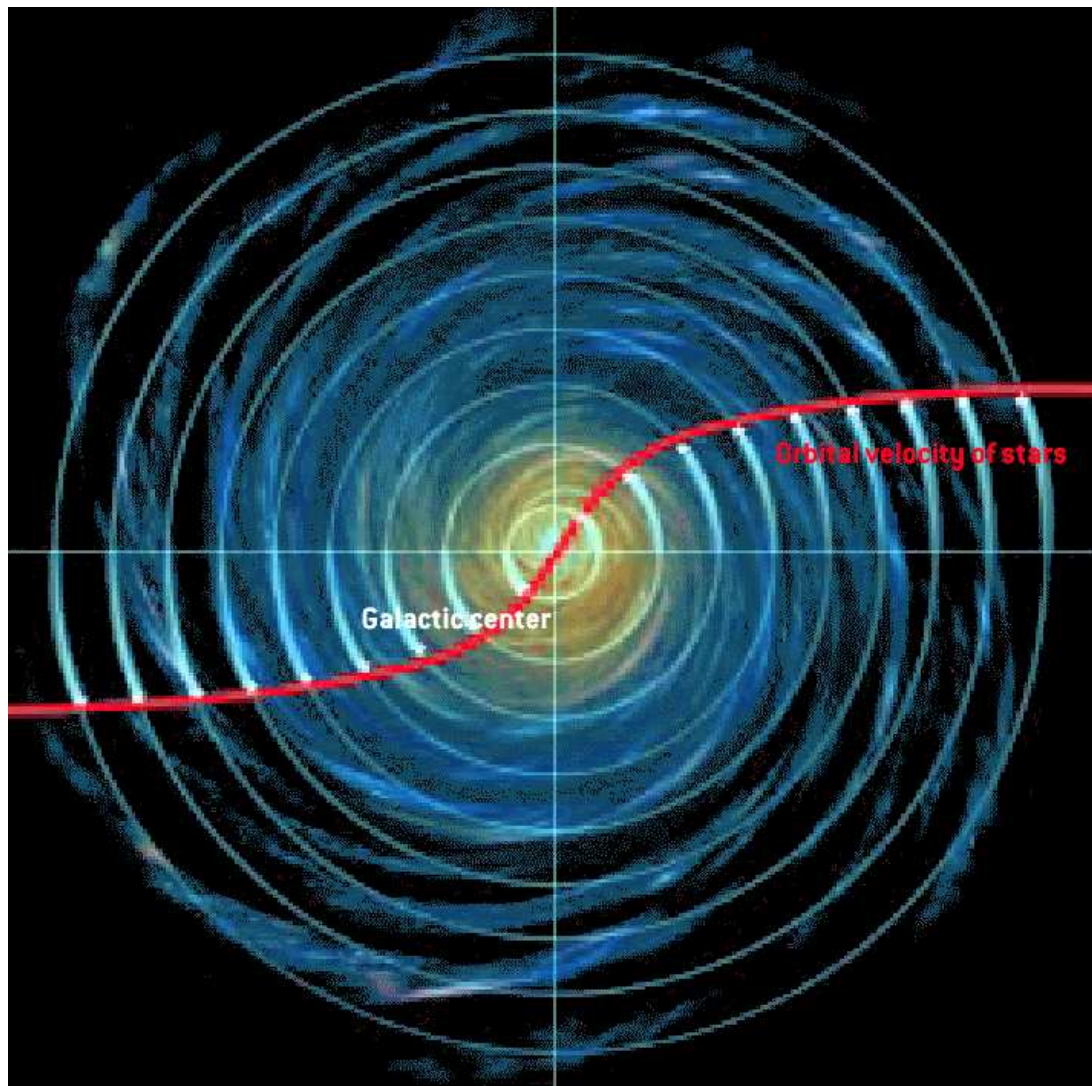
$$\Omega_m \sim 0.3$$

gęstość w jednostkach $\rho_c = \frac{3H^2}{8\pi G}$

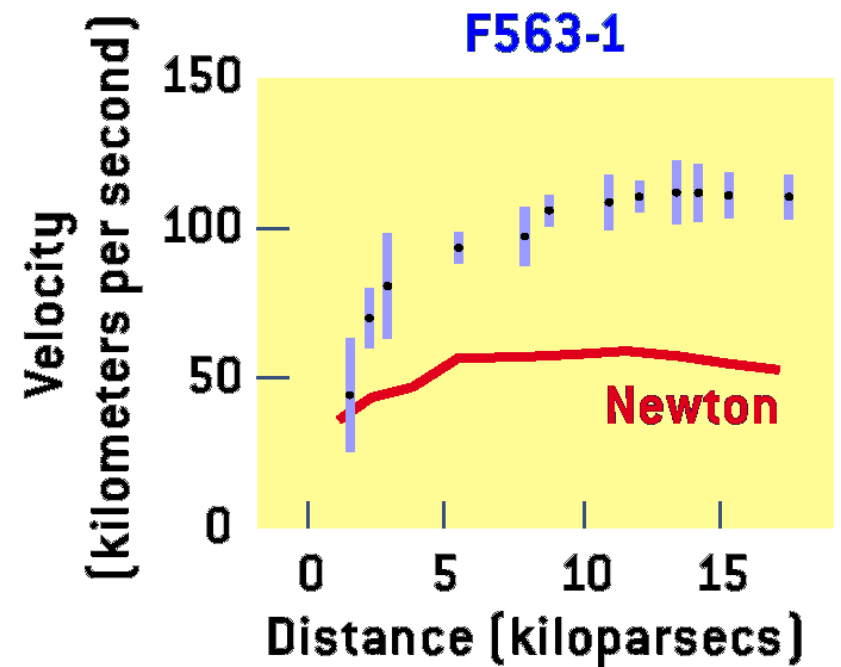
$$\Omega_m \gg \Omega_b \Rightarrow \text{ciemna materia !?}$$

Kosmologia

Rotacja galaktyk



Znane nam prawa dynamiki nie tłumaczą rotacji galaktyk.



Ramiona wirują szybciej niż oczekiwaliśmy z praw grawitacji i dynamiki

⇒ ciemna materia ?

Kosmologia

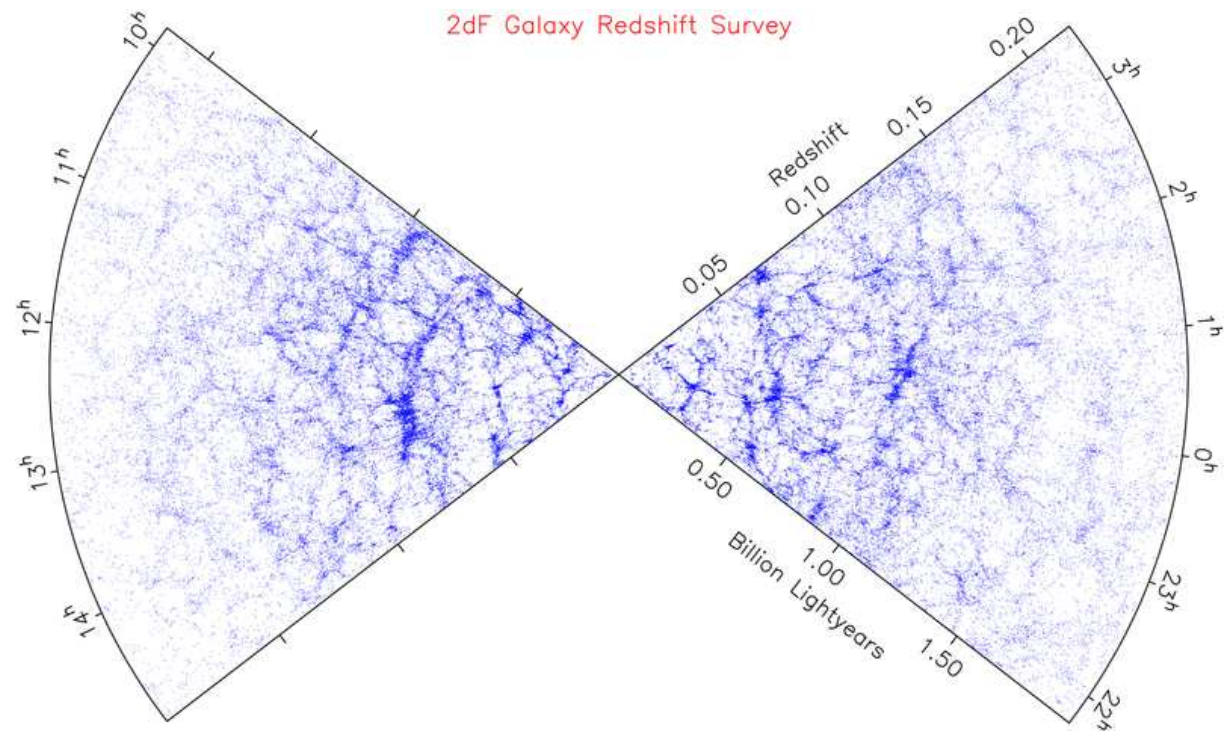
Struktury międzygalaktyczne

Znana nam **materia barionowa** nie wystarcza też do opisu **oddziaływań grawitacyjnych** na skalach międzygalaktycznych.

Oddziaływania grawitacyjne byłyby **zbyt słabe**, żeby wytłumaczyć tworzenie się obserwowanych struktur.

Potrzebujemy:

$$\Omega_m \sim 0.3$$



Kosmologia

Ciemna materia

Wiemy że ciemna materia:

- jest “zimna” (nierelatywistyczna) \Rightarrow masywne cząstki
- jest niebarionowa \Rightarrow nie są to cząstki Modelu Standardowego
- jest stabilna (nie rozpada się)
- bardzo słabo oddziałuje (tylko grawitacyjnie?)
“Odprzęgła się” na wczesnym etapie ewolucji Wszechświata ?...
- daje wkład ok. $1/4$ gęstości krytycznej ($5 \times$ materia barionowa)

Nie wiemy:

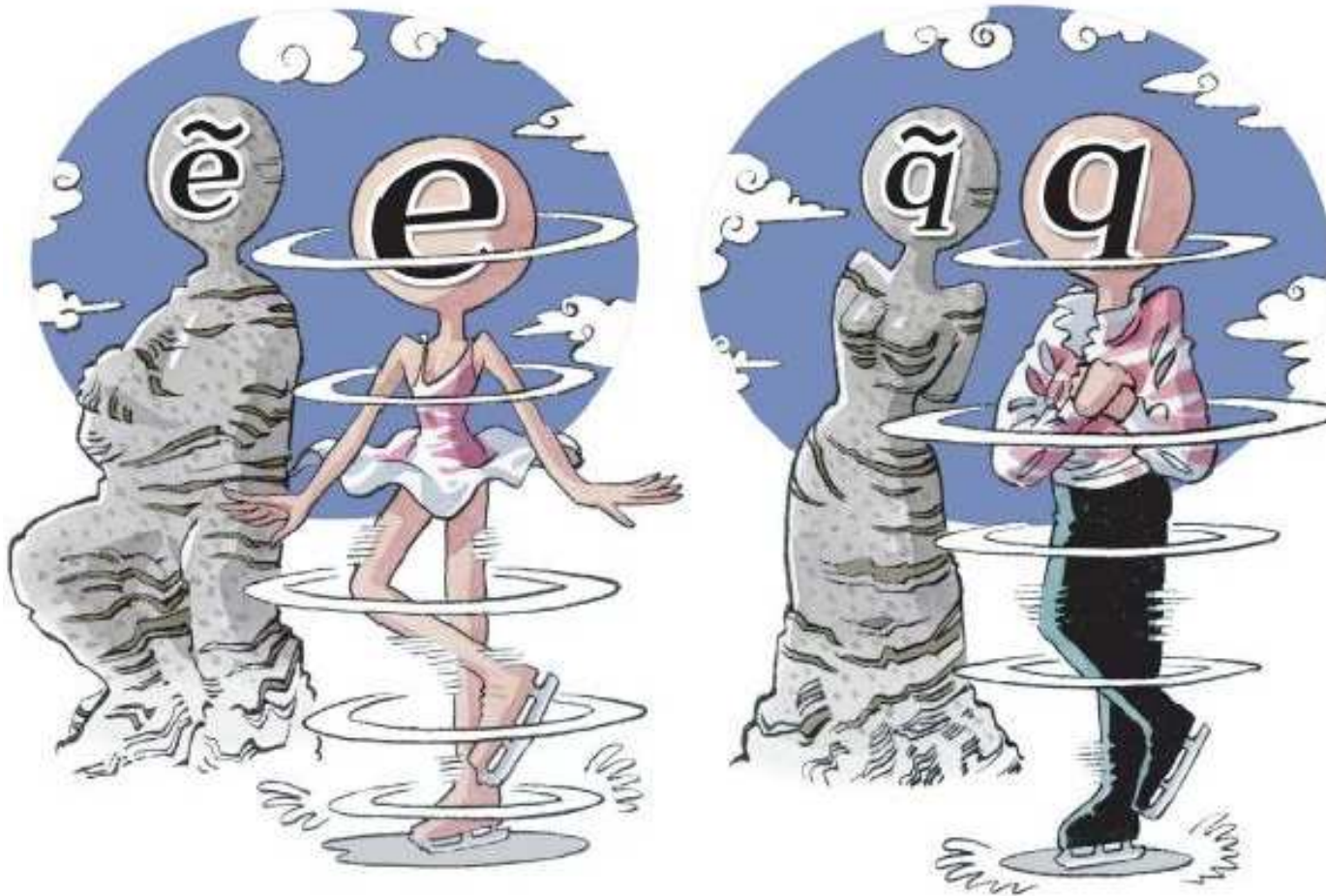
- Co się na nią składa (jedna czy wiele cząstek)?
- Jak ją bezpośrednio zaobserwować?

Jednym z głównych kandydatów jest najlżejsza cząstka supersymetryczna (LSP), którą mamy nadzieję odkryć w LHC.

Fizyka cząstek

Ciemna materia

Supersymetria przewiduje, że każda ze znanych cząstek ma **ciężkiego partnera...**

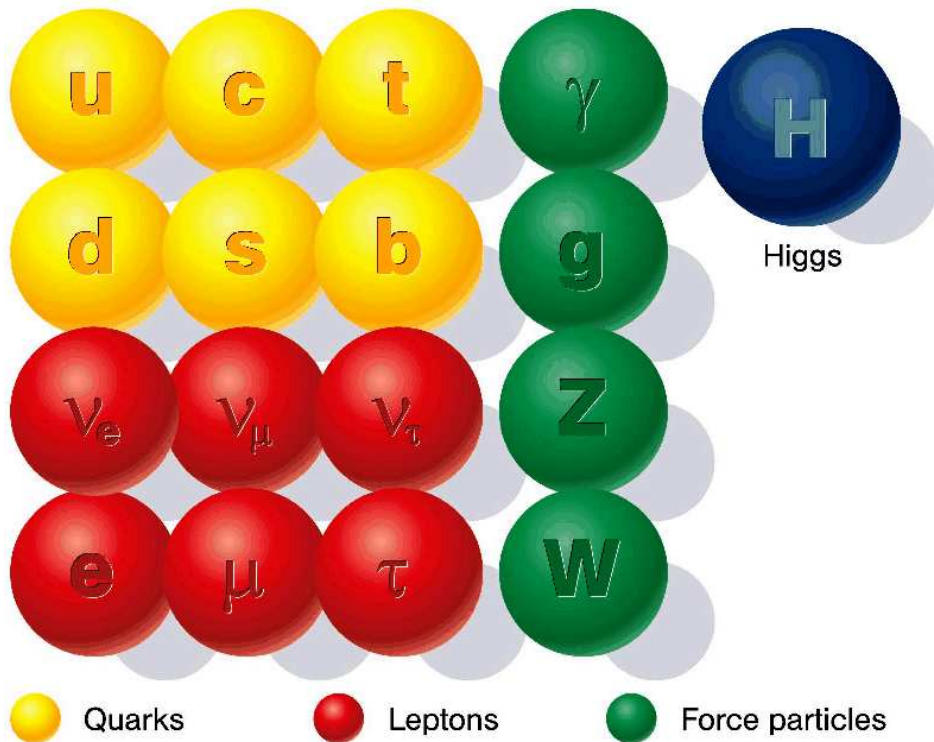


Fizyka cząstek

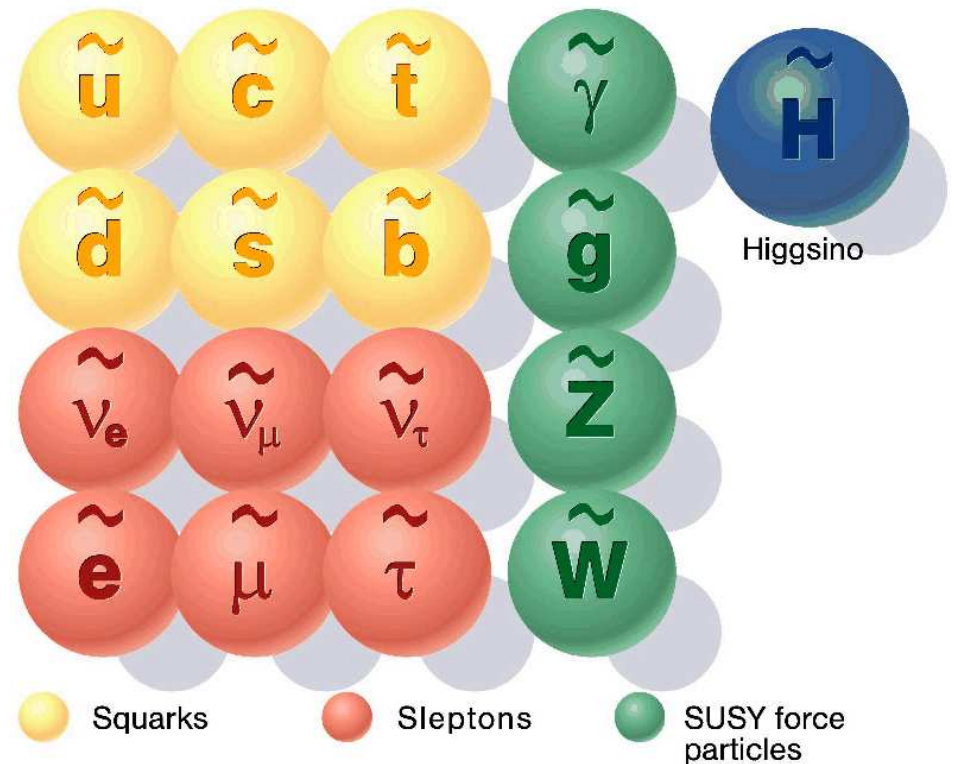
Ciemna materia

Supersymetria przewiduje, że każda ze znanych cząstek ma **ciężkiego partnera...**

Standard particles



SUSY particles



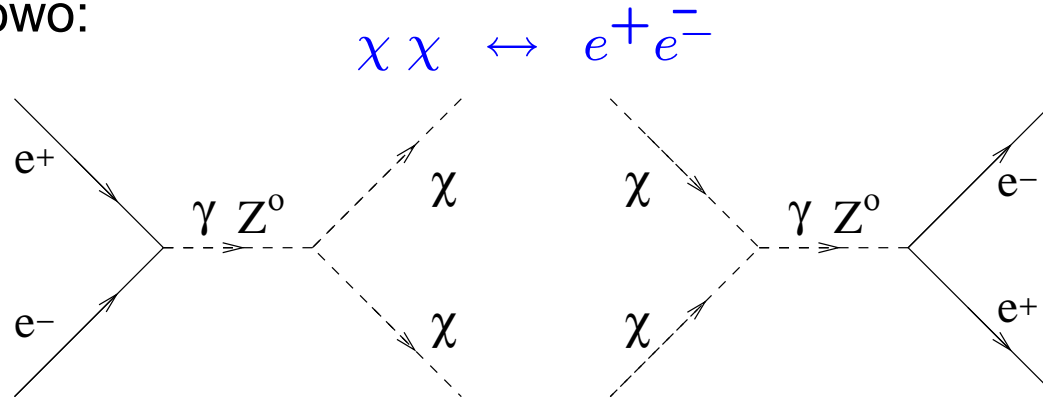
Najlżejsza cząstka supersymetryczna powinna być trwała! (nie rozpada się)

Fizyka cząstek

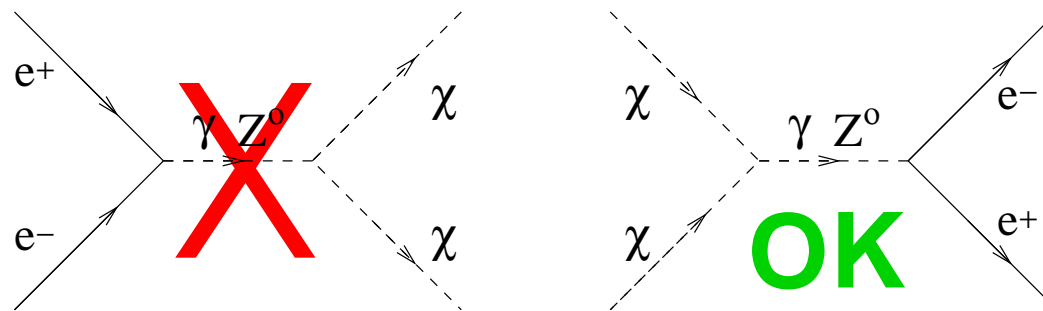
Ciemna materia

Ale także inne modele “nowej fizyki” przewidują istnienie ciężkiej, trwałej, słabo oddziałującej cząstki **ciemnej materii** (WIMP - Weakly Interacting Massive Particle)

Zaraz po Wielkim Wybuchu WIMP (np. ciężkie neutralino χ) jest w równowadze z innymi cząstkami. Przykładowo:



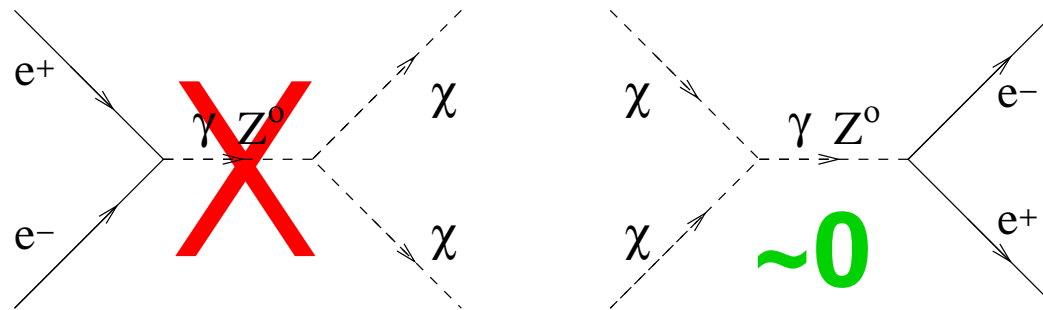
Gdy Wszechświat się “oziębia” zaczyna przeważać **anihilacja**, gęstość WIMP szybko maleje



Fizyka cząstek

Ciemna materia

Ale na skutek rozszerzania gęstość LSP staje się na tyle mała, że anihilacja przestaje efektywnie zachodzić:



Następuje tzw. **“wymrożenie”** cząstek ciężkiej materii.

Nie zdążyły wszystkie anihilować gdy Wszechświat był dostatecznie gęsty, teraz nie mogą anihilować, bo ich gęstość jest zbyt mała, praktycznie się nie spotykają.

Ale że są bardzo ciężkie to dają istotny wkład do masy Wszechświata!

Obecna gęstość WIMP we Wszechświecie silnie zależy od masy tej cząstki oraz od przekroju czynnego na jej produkcje i anihilację.

Fizyka cząstek

LHC

Poszukiwanie cząstek **ciemnej materii** jest jednym z zadań eksperymentów przy akceleratorze LHC w CERN.

LHC zderza **przeciwbieżne** wiązki protonów o energii **3.5 TeV** (docelowo 7 TeV).

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

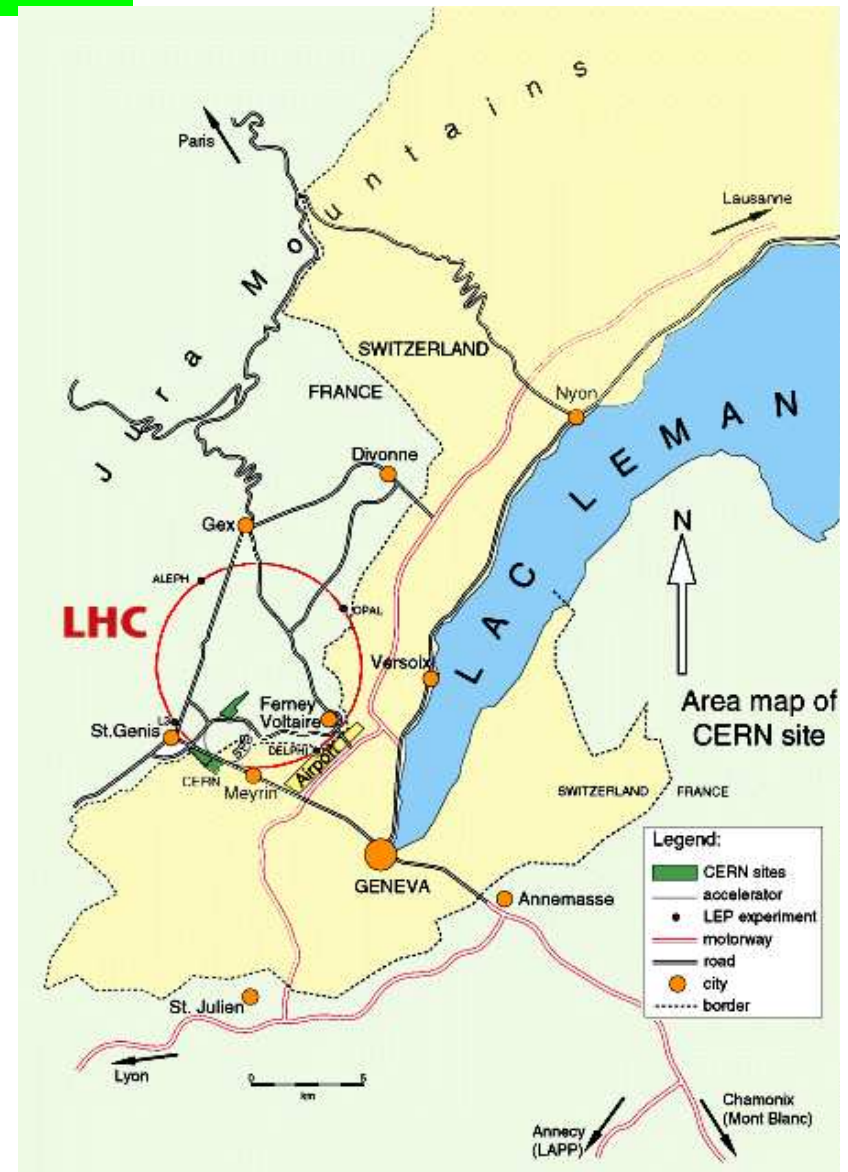
Energia jednej paczki: $\sim 10^5$ J

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



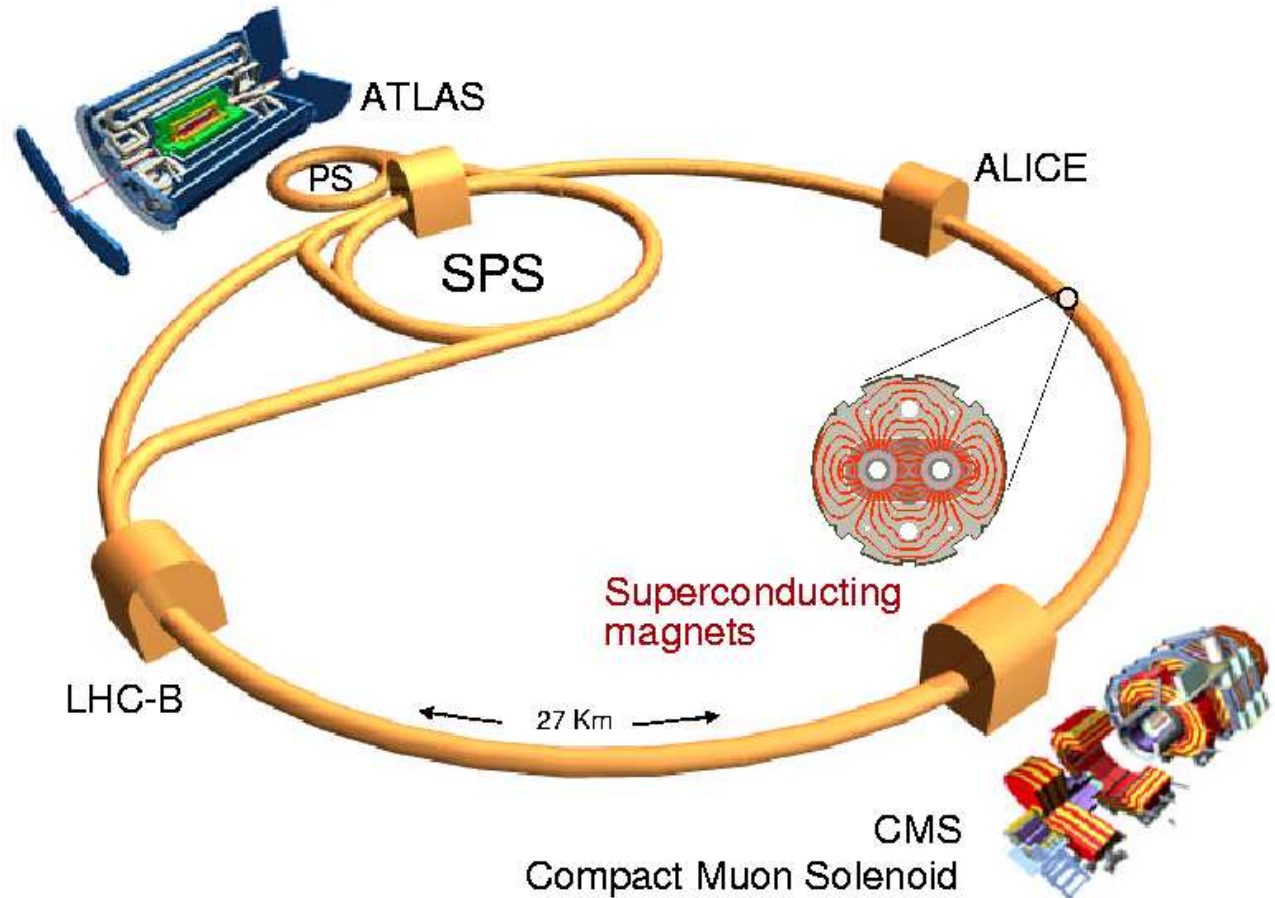
Fizyka cząstek

The Large Hadron Collider (LHC)

LHC

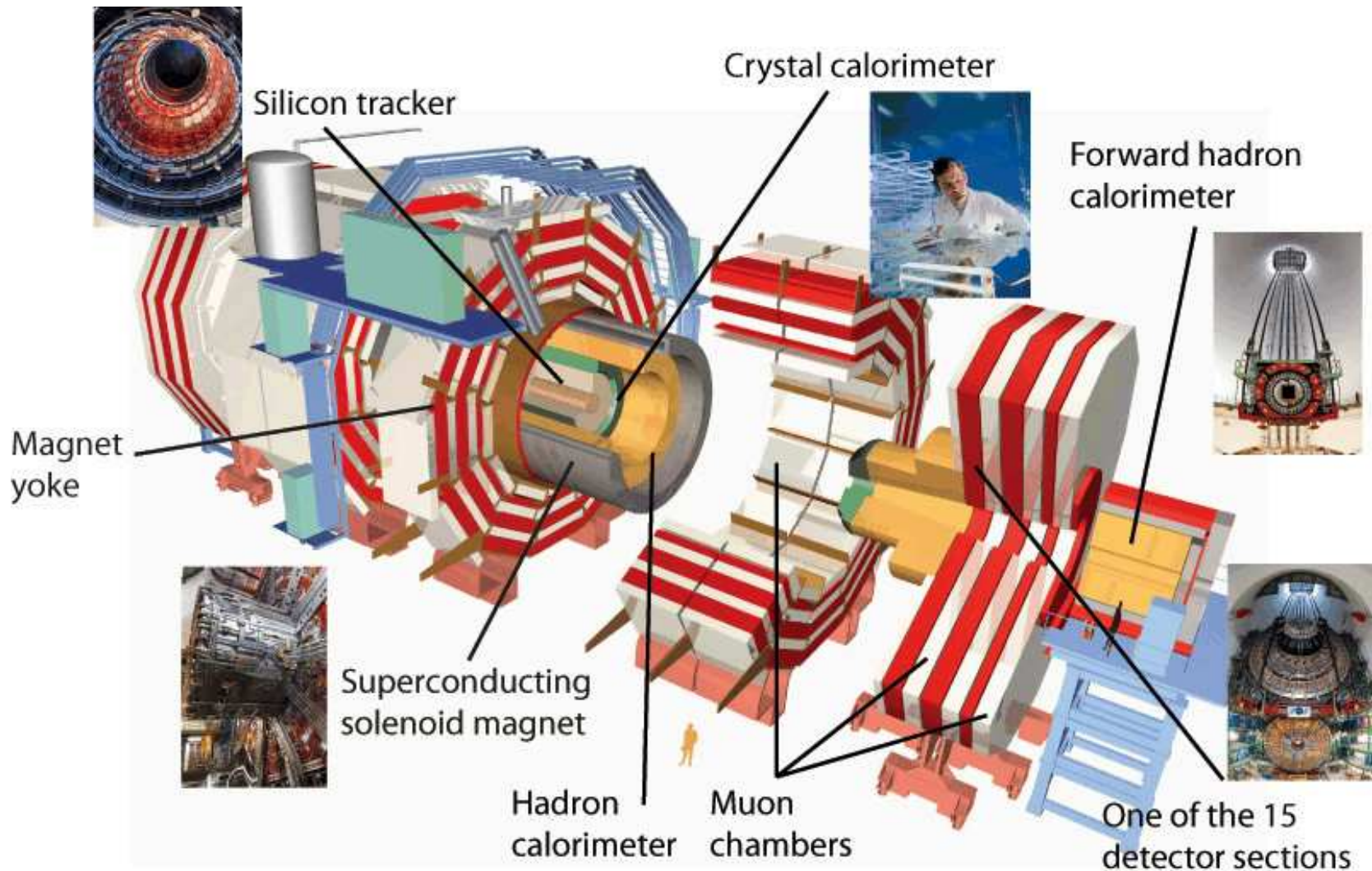
Docelowo intensywność wiązek będzie tak duża, że oczekujemy produkcji do **1000** nowych, ciężkich cząstek (np. cząstek supersymetrycznych) **na godzinę!**

Przypadków produkcji nowych cząstek będą poszukiwać dwa eksperymenty: **ATLAS** i **CMS**



Fizyka cząstek

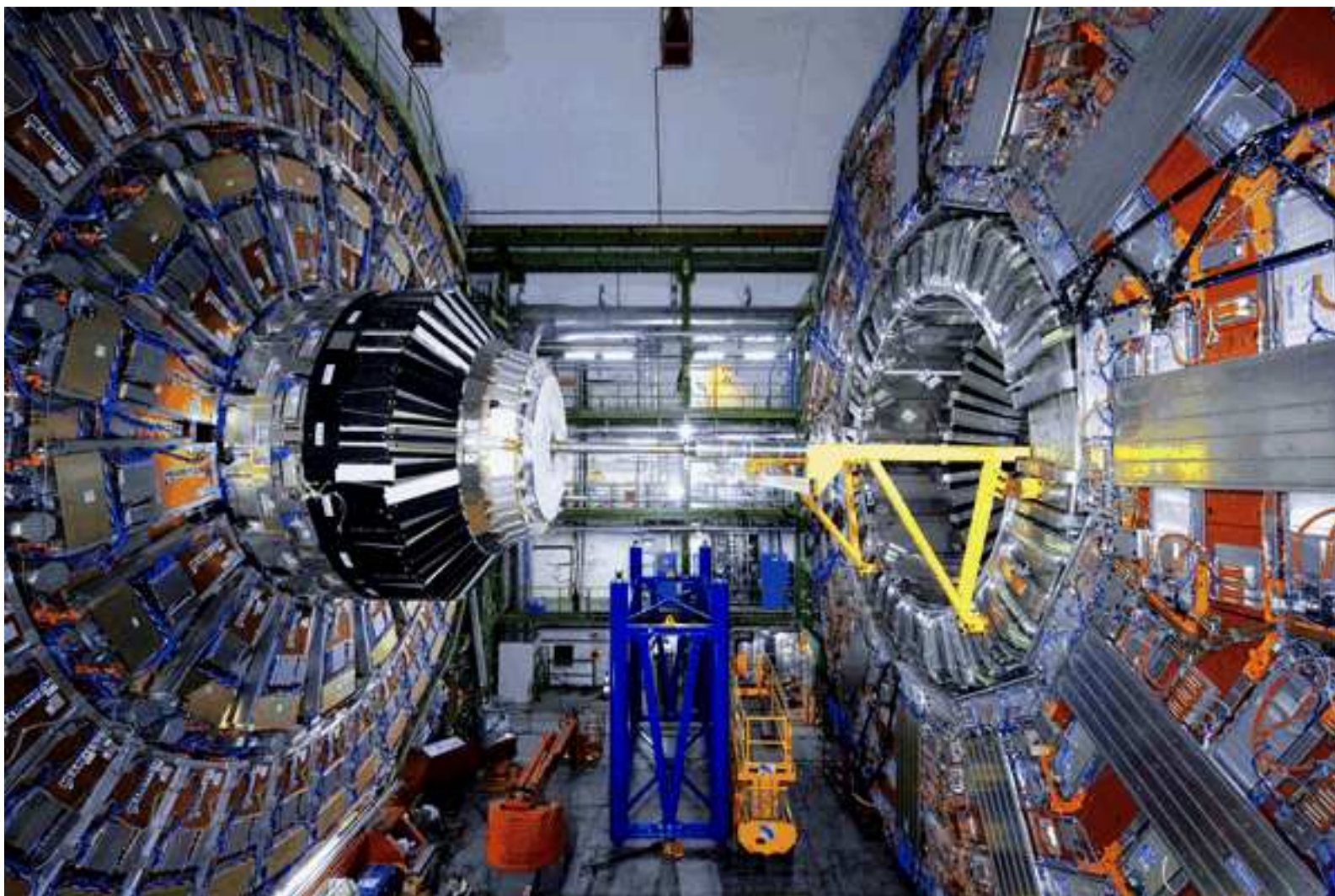
CMS



Grupa warszawska jest odpowiedzialna za tzw. **mionowy system wyzwalania**.

Fizyka cząstek

CMS



Detektor tuż przed ostatecznym zamknięciem.

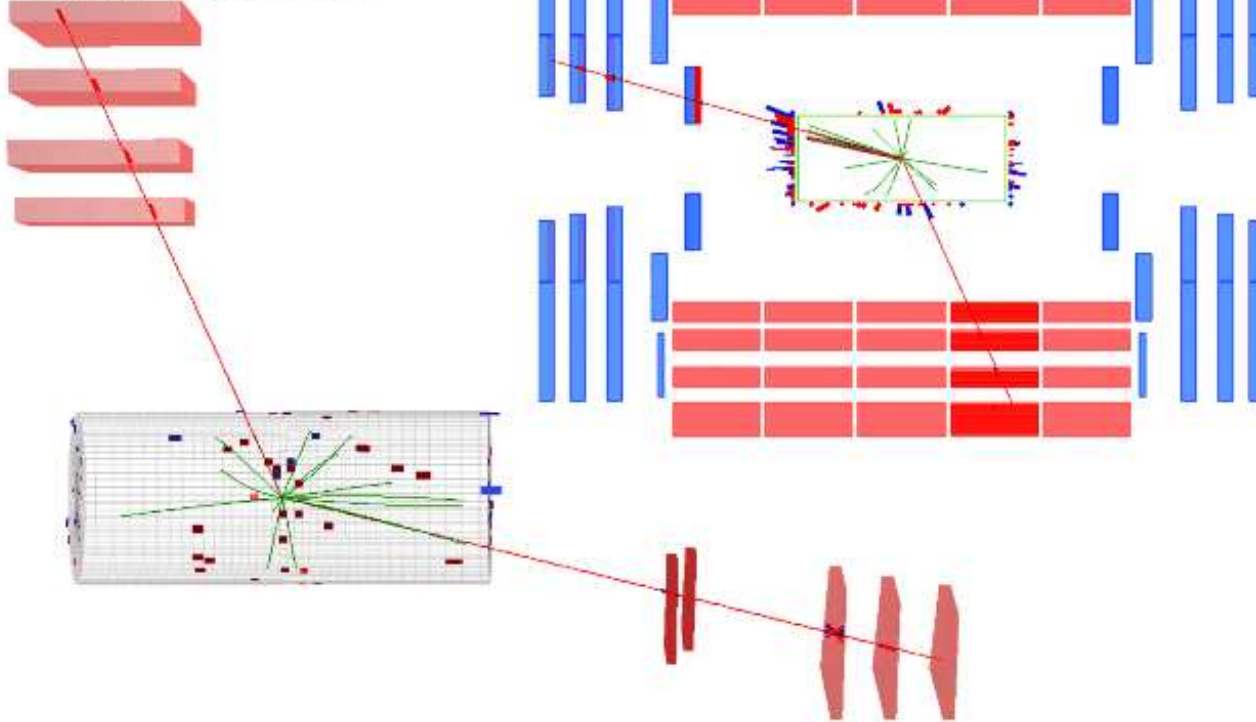
Fizyka cząstek

CMS



CMS Experiment at LHC, CERN
Run 136087 Event 39967482
Lumi section: 314
Mon May 24 2010, 15:31:58 CEST

Muon $p_T = 27.3, 20.5 \text{ GeV}/c$
Inv. mass = $85.5 \text{ GeV}/c^2$



Rekonstruowany przypadek **produkcji** i **rozpadu** bozonu Z^0 : $pp \rightarrow Z^0 + X$, $Z^0 \rightarrow \mu\mu$

Astrofizyka cząstek

W ostatnich latach, zwłaszcza w świetle nowych wyników, **kosmologia** zbliża się coraz bardziej do **fizyki cząstek**. Jest wiele pytań na które wspólnie szukamy odpowiedzi:

- **ciemna materia**

Nie wiemy co nią jest, choć mamy szereg propozycji (np. cząstki supersymetryczne)

- **ciemna energia**

Całkowita zagadka...

- **asymetria barionowa** we Wszechświecie

Wszechświat zbudowany jest z **materii**

⇒ jak w trakcie ewolucji złamana została symetria **materia-antymateria** ?

Wiemy już, że wymagało to złamania **symetrii CP**,
znacznie silniejszego niż w Modelu Standardowym...

- cząstki o bardzo wysokich energiach w **promieniowaniu kosmicznym**

- **błyski gamma** (GRB: Gamma Ray Bursts)

Astrofizyka cząstek

Pi of the Sky

Poszukiwanie błysków optycznych stowarzyszonych z błyskami gamma (GRB)



Nowy detektor zainstalowany w ośrodku INTA na południu Hiszpani

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
- Efekt dopplera

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, 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 31 stycznia 2011, godz. 14⁰⁰ – 18³⁰,

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)

+ ostatnie 3 serie zagadnień (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 prawdopodobnie 3 i 4 lutego, ew. 7 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 5 marca 2011 (sobota), godz. 9⁰⁰ – 14⁰⁰

Organizacja jak w pierwszym terminie...

Egzamin ustny

Prawdopodobnie 8 i 9 marca...

Ankiety

Jeszcze przez tydzień (do poniedziałku 24 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 **Fizyka wobec wyzwań XXI w.**
współfinansowany ze środków Unii Europejskiej
w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego