

Materia i jej powstanie

Wykłady z chemii

Jan Drzymała

Przyjmuje się, że wszystko zaczęło się od Wielkiego Wybuchu, który nastąpił około 15 miliardów lat temu. Model Wielkiego Wybuchu wynika z rozwiązań równań Einsteina dla jednorodnej i izotropowej czasoprzestrzeni. Według tego modelu na początku wszystko było skupione w jednym punkcie zwanym zarodkiem pierwotnym o wymiarze około 10^{-33} cm. Przypuszcza się, że kwantowy zarodek, z którego rozwinął się wszechświat powstał jako fluktuacja. Wiek tej fluktuacji czyli Wszechświata wynosił wtedy 10^{-43} sekundy, bo taka jest najmniejszą jednostką czasową czyli kwant czasu. W tym małym zarodku istniała już grawitacja jako niezależne oddziaływanie. W normalnych warunkach fluktuacje pod wpływem grawitacji zanikają i tak powinno się było stać z zarodkiem Wszechświata. Przyjmuje się, że w tym momencie nastąpiła jakaś reakcja analogiczna do przemiany fazowej, która doprowadziła do uwolnienia energii. Energia ta zadziałała przeciwko grawitacji powodując wybuch czyli gwałtowne rozdymanie się czyli inflację. Inflacja Wszechświata trwała około 10^{-34} s. W tym czasie Wszechświat zwiększył swoje wymiary 100-krotnie i osiągnął wielkość grejpfruta czyli około 10 cm. Dalsze rozszerzanie się Wszechświata było już liniowe wywołane bezwładnością. Od tego momentu rozpoczęła się historia wszechświata, a takie parametry jak czas czy też temperatura rozpoczęły swoje fizyczne znaczenie. Wielki Wybuch uruchomił procesy, które doprowadziły do różnicowania i ewolucji prowadzącej do powstania nowych form materii i jej równoważników jak pola czy fal, zaś ich oddziaływanie do powstawania nowych form energii. Ewolucję Wszechświata od Wielkiego Wybuchu do dzisiaj przedstawia plansza na rys.1.

Kiedy wiek Wszechświata wynosił 10^{-43} sekundy jego średnia temperatura wynosiła 10^{32} kelwinów. Od tego momentu Wszechświat można opisywać ogólną teorią Einsteina. Kiedy Wszechświat miał 10^{-34} s jego temperatura spadła do 10^{27} K i składał się on z mieszaniny materii i antymaterii. W miarę upływu czasu i obniżania się temperatury cząstki materii i antymaterii reagowały ze sobą wytwarzając promieniowanie. Reakcje te zachodziły aż do zaniku antymaterii. Trwało to kilku sekund, temperatura spadła do około 10^{10} K. Głównymi składnikami Wszechświata stała się materia w postaci protonów, neutronów, elektronów i fotonów. Dalsze rozszerzanie się Wszechświata i jego stygnięcie spowodowało, że protony i neutrony zaczęły reagować ze sobą tworząc jądra deuteru. Wkrótce potem

nastąpił okres reakcji jądrowych prowadzących do powstawania jąder helu i w małym stopniu cięższych w postaci jąder litu. W okresie pierwszego miliona lat z jąder i elektronów zaczęły powstawać atomy wodoru, deuteru, helu i małych ilości atomów litu. Dalsze rozszerzanie się Wszechświata spowodowało, że stał się wielki i zimny, gdyż jego temperatura spadła do kilkudziesięciu kelwinów.

Atomy wodoru deuteru i helu, choć występowały we Wszechświecie w dużym rozrzedzeniu, miały tendencje do lokalnego skupiania się, a zjawisko to zachodzi we Wszechświecie także obecnie. Gęstość skupionych atomów deuteru, w wyniku wzrostu sił grawitacyjnych rosła. Rosła także lokalna temperatura, choć temperatura otaczającego kosmosu ciągle spadała. Wzrost temperatury prowadzi do rozpoczęcia reakcji jądrowej polegającej na syntezie ciężkich pierwiastków. Powstaje wtedy, czyli zapala się, nowa gwiazda. Gwiazdy to ogromny tygiel, w których zachodzi synteza cięższych pierwiastków. Przy końcu życia gwiazdy wybuchają uwalniając powstałe pierwiastki. Wydarzenia te torują drogę do powstania planet i układów słonecznych. Z kolei gwiazdy z ewentualnymi planetami i księżycami tworzą galaktyki takie jak nasza Droga Mleczna.

Materia z jakiej zbudowana jest ziemia powstaje pod koniec życia gwiazd. Pod koniec życia gwiazdy zawierają ogromną ilość różnorodnych jąder, które z chwilą śmierci gwiazdy wyrzucane są w przestrzeń. Jądra pozyskują sobie elektrony, które tworzą atomy, które poprzez reakcje między sobą tworzą cząsteczki. Cząsteczki te mogą reagować ze sobą wchodzić w dalsze reakcje, aż tworzą się w dalszych warunkach trwale związki. Do trwałych cząsteczek ze względu na strukturę elektronową zalicza się CO_2 , H_2O czy też SiO_2 . Obecny skład chemiczny Wszechświata to 77 procent wagowy wodoru, 23 % helu i śladowe ilości cięższych pierwiastków.

Słońce wraz Ziemią i innymi planetami powstało około 5 mld lat temu. Około miliard lat później, prawdopodobnie w wyniku reakcji chemicznych, powstało życie na Ziemi. Człowiek na Ziemi pojawił się około sto tysięcy lat temu.

Atomy i pierwiastki

Ziemia składa się z ciał stałych, ciekłych oraz gazowych, które występują w postaci związków chemicznych, które z kolei składają się z atomów. Obecnie znanych jest około 112 pierwiastków chemicznych. 105 pierwiastków występuje na naszej planecie, pozostałe można wytworzyć sztucznie poprzez odpowiednie reakcje chemiczne. Większość pierwiastków w normalnej temperaturze i ciśnieniu to ciała stałe. Cieczami są rtęć i brom.

Atomy składają się z mniejszych jednostek: jąder atomowych i leptonów (elektron, neutrina). Liczba elektronów, które są naładowane ujemnie w atomie jest taka sama jak naładowanych dodatnio protonów w jądrze. Obok protonów w jądrze znajdują się neutrony, które są elektrycznie obojętne. Liczba neutronów w jądrze jest równa lub większa niż liczba protonów. Pierwiastki, które mają w jądrze identyczną liczbę protonów, lecz różnią się liczbą neutronów nazywane są izotopami. Poszczególne izotopy określa się mianem nuklid. Atomy mogą występować samodzielnie (argon), łączyć się w cząsteczki (tlen) lub tworzyć złożone struktury (ciała stałe). Właściwości pierwiastków ogólnie opisuje układ okresowy pierwiastków który będzie omawiany na innym wykładzie.

Cząstki elementarne

Protony i neutron nie są cząstkami elementarnymi, gdyż składają się z kwarków i gluonów, które je ze sobą spajają. Istnieje 6 kwarków, które występują zawsze parami. Kwark górny zawsze występuje z kwarkiem dolnym, kwark powabny z dziwnym, a piękny z prawdziwym przy czym liczba jednego i drugiego kwarka w cząstce nie musi być równa. Podobnie jest z leptonami, które także występują parami. Kwarki mają niewielką masę zaś gluony, o których bardzo mało wiemy, są cięższe od kwarków. Kwarki i gluony tworzą większe cząstki zwane hadronami. Wśród hadronów wyróżnia się bariony (neutron i proton) oraz mezony, a ich skład kwarkowy podany jest w tabeli 2. Bariony zbudowane są z trzech kwarków a mezony zawierają dwa kwarki.

Najbardziej znane i ważne dla opisu otaczającej nas materii to protony i neutrony. Proton składa się z dwóch kwarków górnych i jednego dolnego. Ponieważ ładunek elektryczny kwarku górnego jest $2/3$ a dolnego $-1/3$ to ładunek elektryczny protonu ($2 \times 2/3 - 1/3$) jest dodatni i równy elementarnemu ładunkowi elektrycznemu. Z kolei neutron składa się z jednego kwarka górnego i dwóch dolnych. Łatwo obliczyć że ładunek elektryczny neutronu wynosi zero ($2/3 - 1/3 - 1/3 = 0$).

Cząstki elementarne, a także tworzone przez nich obiekty zarówno małe jak i duże, oddziałują ze sobą. Obecnie wyróżnia się cztery rodzaje oddziaływań: grawitacyjne, elektromagnetyczne, silne oraz słabe. Grawitacja to energia odpowiedzialna za przyciąganie i spajanie gwiazd, galaktyk a także małych obiektów materialnych. Energia grawitacyjna Wszechświata jest w przybliżeniu równa energii równoważnej masie ($E = mc^2$) Wszechświata a zatem jest ona ujemna. Energia grawitacyjna zamienia się na ciepło, co szczególnie widać podczas powstawania gwiazd. Realizacja oddziaływań grawitacyjnych odbywa się według

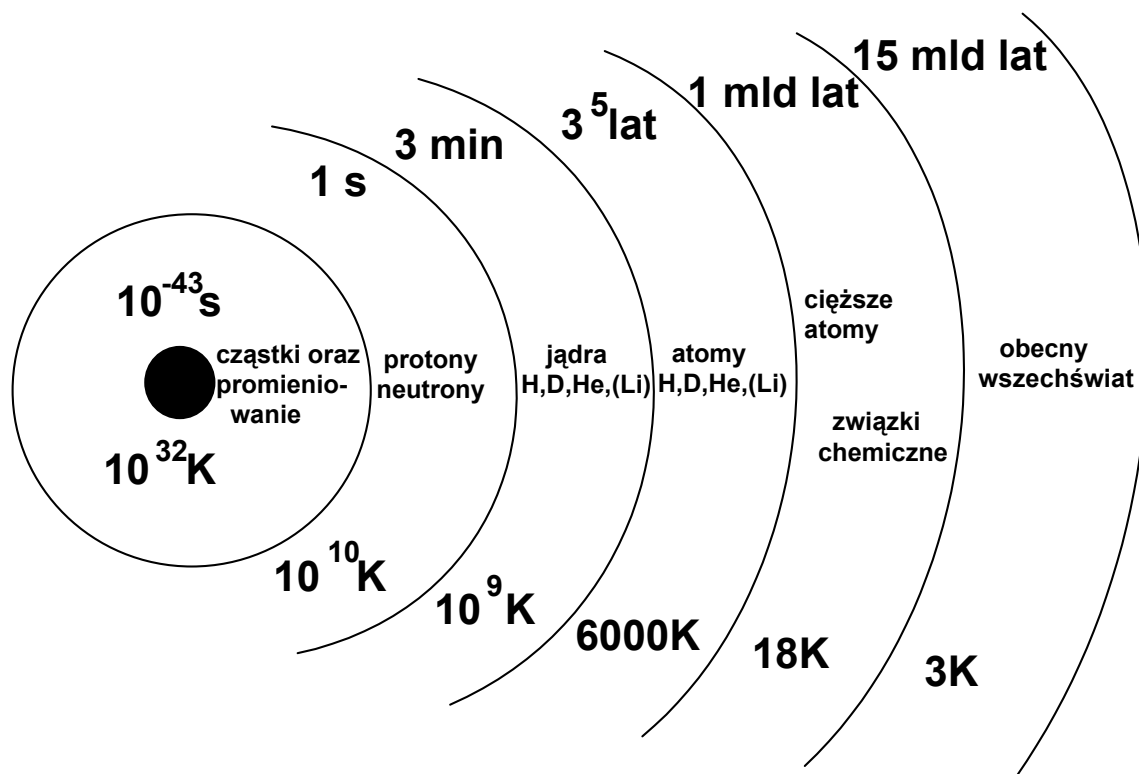
teorii Einsteina za pomocą grawitonów. Istnienie ich nie zostało jeszcze potwierdzone doświadczalnie.

Oddziaływanie elektromagnetyczne (pole elektryczne, pole magnetyczne, światło) realizowane jest za pomocą fotonów. Oddziaływania silne odpowiedzialne są za spójność jąder i odbywają się za pomocą gluonów. Kwarki podlegają oddziaływaniom silnym, elektromagnetycznym i słabym. Leptony (bez neutrin) podlegają oddziaływaniom elektromagnetycznym i słabym a neutrina oddziaływaniom słabym. Oddziaływania słabe, mające znaczenie dla radioaktywności odbywają się za pomocą bozonów.

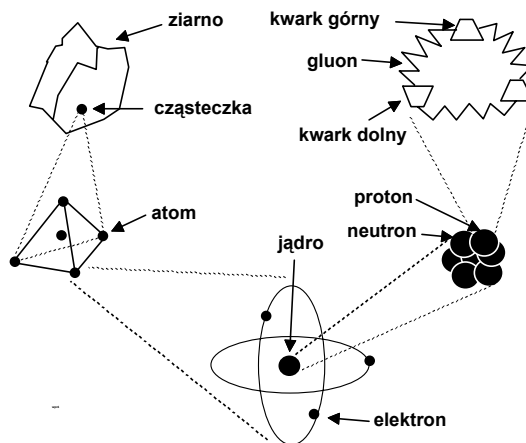
Wszystkie opisane cząstki, jak pokazano na planszy dotyczącej historii kosmosu na rys. 1, istniały już od Wielkiego Wybuchu, a w początkowym jego okresie istniały tylko te cząstki.

Cząstki elementarne mają swoje antycząstki. Antycząstki mają proton, neutron kwarki, leptony. Ich nazwę otrzymuje się przez dodanie przedrostka anty. I tak mamy np. antyelektron (czyli pozyton), antyneutron, antyproton, antykwark, antyneutrino, itd. Jedynie fotony i mezony nie mają swojego odpowiednika anty, gdyż są własnymi antycząstkami. Jeżeli cząstka ma ładunek to jej antycząstka ma ładunek przeciwny. Jeżeli cząstka nie ma ładunku to antycząstka ma odwrotny spin tej cząstki. Spotkanie się cząstki z antycząstką powoduje ich zanik (anihilację) z utworzeniem nowych cząstek lub pola. W wyniku anihilacji elektronu i pozytonu powstają dwa fotony. Możliwe jest także reakcja odwrotna tworzenia się elektronu i pozytonu z dwóch fotonów.

Każda cząstka ma swój czas istnienia. Większość z nich ma bardzo krótki okres życia i dlatego nie mamy z nimi do czynienia na co dzień. Trwale są kwarki, które tworzą protony. Także trwale są elektrony, fotony i neutrina elektronowe.



Rys. 1. Wielki Wybuch (Według Wiedzy i Życie)



Rys. 1.2. Elementy składowe materii. Rysunek oparty o wykres Kane'a (1986)