

# Abstrakt

Model Standardowy (The Standard Model (SM)) opisuje z powodzeniem oddziaływania cząstek elementarnych, jednak pozostawia bez odpowiedzi wiele podstawowych pytań. Przedstawiana rozprawa doktorska dotyczy niektórych z otwartych zagadnień. Głównym celem rozprawy jest zbadanie i zrozumienia pochodzenia występującej we Wszechświecie asymetrii między materią a antymaterią oraz natury ciemnej materii (Dark Matter (DM)). Bariogeneza, czyli kreacja asymetrii barionowej (BAU) jest od dawna otwartym problemem kosmologii. Sakharov sformułował warunki aby taki proces kreacji wystąpił- niezachowanie liczby barionowej  $B$ , łamanie symetrii ładunkowej  $C$  i symetrii kombinowanej  $CP$  oraz odstępstwo od równowagi termicznej. Wśród wielu scenariuszy proponowanych w ostatnich dekadach – bariogeneza elektroslaba (Electroweak EW) jest jednym z bardziej interesujących podejść. Jak się okazuje, oddziaływania elektroslabe tak jak je ujmuje Model Standardowy, nie są w stanie wygenerować obserwowanej asymetrii barionowej z co najmniej dwóch powodów. Po pierwsze – przejścia fazowe pod wpływem oddziaływań elektroslabych nie są wystarczająco silnymi przejściami pierwszego rodzaju, i dlatego asymetria barionowa tworzona w czasie przejścia fazowego rozmywa się następnie poprzez nietłumione procesy naruszające liczbę barionową w fazie ze złamaną symetrią. Po drugie, efekty łamania  $CP$ , związane z macierzą mieszania CKM, są za słabe aby wygenerować odpowiednią asymetrię barionową. Głównym celem rozprawy było zbadanie tych zagadnień w rozszerzeniach Modelu Standardowego z neutralnym zespolonym skalarą i parą dubletów izospinowych kwarków wektorowych ( $VQ$ ). W tym celu wprowadziliśmy potencjał z miękką łamaną symetrią globalną  $U(1)$ , stanowiący podstawę modelu Constrained SM+CS model (cSMCS). Gdy wartość oczekiwana dla zespolonego skalaru jest niezerowa pojawia się możliwość spontanicznego łamania  $CP$ . Mieszanie zwykłych kwarków z Modelu Standardowego z kwarkami wektorowymi stanowi dodatkowe źródło łamania  $CP$ . Ten model prowadzi do przejścia fazowego silnie pierwszego rodzaju pod wpływem oddziaływań elektroslabych i poprawnego opisu bariogenezy. Spektrum cząstek skalarnych modelu cSMCS obejmuje trzy neutralne cząstki Higgsa, wśród nich przyjmuje się, że najlżejsza to cząstka Higgsa (SM-like) o własnościach zbliżonych do tych przewidywanych dla cząstki Higgsa z Modelu Standardowego i zaobserwowanych w roku 2012 w Large Hadron Collider (LHC, CERN, Genewa)) dla odkrytej cząstki Higgsa o masie ok. 125 GeV. W rozważanym modelu ta cząstka Higgsa pochodzi głównie z dubletu  $SU(2)$ , z małą domieszką singletu. Obliczyliśmy również przekrój czynny na produkcję w LHC cząstek Higgsa z modelu cSMCS. Do opisu rozkładów kwarków i gluonów w protonach zastosowaliśmy rachunek zaburzeń Kwantowej Chromodynamiki (QCD) z dokładnością do wiodących logarytmów (LO QCD), używając nieprzecalkowanych rozkładów partonowych (the unintegrated parton distribution functions (UPDF)), zaproponowanych przez Kimberę, Martina i

Ryskina (KMR). Najpierw przetestowaliśmy nasze podejście obliczając przekrój czynny na produkcję cząstki Higgsa z Modelu Standardowego i porównując nasze wyniki z innymi istniejącymi w literaturze oraz z danymi doświadczalnymi z doświadczeń ATLAS i CMS przy LHC. Po wykazaniu, że nasze obliczenia odtwarzają z wystarczającą dokładnością przewidywania teoretyczne i zgadzają się z danymi doświadczalnymi dla Modelu Standardowego, zastosowaliśmy nasze podejście do cząstek Higgsa z modelu cSMCS. Nasze przewidywania dla najlżejszej cząstki Higgsa jest oczywiście zbliżone do przewidywań dla cząstki z Modelu Standardowego, przewidywania dla cięższych cząstek Higgsa z modelu cSMCS dostarczają wskazówek do dalszych poszukiwań cząstek skalarnych. Badania rozszerzeń Modelu Standardowego nie mogą się ograniczać jedynie do sektora Higgsa, gdyż efekty związane z ciemną materią (DM) obserwuje się zarówno w galaktykach, dużych strukturach Wszechświata, promieniowaniu reliktowym (Cosmic Microwave Background Radiation) itp. Ponieważ żadna cząstka w modelu cSMCS nie nadaje się na cząstką ciemnej materii, wprowadziliśmy rozszerzenie tego modelu przez dodanie tzw. biernego dubletu  $SU(2)$  (the inert doublet) z zerową wartością próżniową. Taki model, nazwany przez nas cIDMS, ma założoną ścisłą symetrię typu  $Z_2$  i zawiera stabilną cząstkę ciemnej materii. Model opisuje poprawnie gęstość reliktową oraz wyniki pośredniej detekcji ciemnej materii jak również dane doświadczalne z LHC. Rozprawa zawiera również analizę modelu z dwoma dubletami pól skalarnych (Two Higgs Doublet Model (2HDM)) w oparciu o warunki kasowania się rozbieżności kwadratowych (Veltman conditions). Przeanalizowaliśmy wnioski wynikające z warunków Veltmana dla wersji tego modelu z miękkim łamaniem symetrii  $Z_2$ , próżnią typu mieszanego (Mixed Vacuum), w które oba dublety mają niezerową wartość próżniową i oddziaływaniem Yukawy typu II. Z założenia symetria CP jest zachowana w rozważanym modelu. Spektrum cząstek skalarnych w tym modelu zawiera trzy cząstki neutralne  $h$ ,  $H$  i  $A$  oraz dwie naładowane  $H^+, H^-$ . Zarówno  $h$  jak i cięższa od niej cząstka  $H$  mogą odgrywać rolę cząstki Higgsa z Modelu Standardowego. Przeanalizowaliśmy dwa możliwe scenariusze typu "SM-like" dla cząstki  $h$  i cząstki  $H$ , uwzględniając najnowsze dane z LHC dotyczące masy ( $\sim 125$  GeV) i sprzężeń do bozonów cechowania cząstki Higgsa oraz inne ograniczenia, w tym na masę naładowanego bozonu Higgsa  $H^\pm$ , z rozpadu kwarku b. Wykazaliśmy, że warunki Veltmana są spełnione jedynie dla cząstki  $h$  i uzyskaliśmy zbieżność naszych przewidywań dla parametrów modelu z najlepszym dopasowaniem uzyskanym w LHC, zawierającym również pomiary niewykorzystywane w naszej analizie.