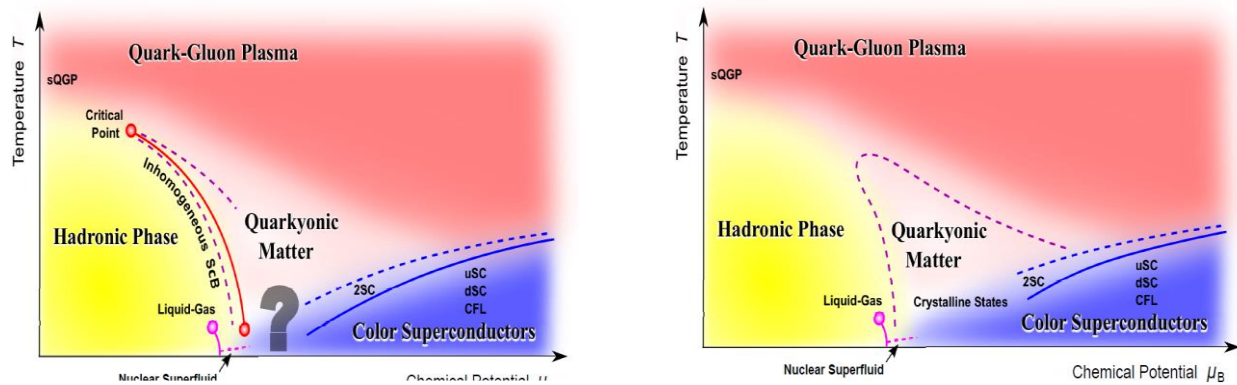


## Ekstremalna materia QCD i Fenomenologia Zderzeń Ciężkich Jonów

Teorią opisującą oddziaływania silne w Modelu Standardowym jest Chromodynamika Kwantowa (QCD). Jednym z jej fundamentalnych przewidywań jest uwięzienie kwarków oraz spontaniczne łamanie symetrii chiralnej. Teoria ta przewiduje, że dla pewnej krytycznej wartości gęstości energii w materii silnie oddziałujących cząstek następuje przejście od fazy hadronowej do nowego stanu materii, tzw. plazmy kwarkowo-gluonowej (QGP). W fazie hadronowej kwarki występują w stanach związanych, a symetria chiralna jest spontanicznie złamana, co implikuje między innymi różnice mas hadronowych partnerów chiralnych. W fazie QGP symetria chiralna jest dynamicznie przywrócona a kwarki są uwolnione. Uwolnienie koloru oraz odzyskanie symetrii chiralnej prowadzi do diagramu fazowego materii QCD przedstawionego schematycznie na rysunku. Jak dotychczas możliwe są różne scenariusze takiego diagramu, który uwzględnia przejście fazowe lub zakłada, że zmiana fazy jest przejściem ciągłym.

Własności materii QCD w obszarze wysokich temperatur  $T$  i małych wartości barionowego potencjału chemicznego  $\mu$  zostały już dobrze opisane poprzez rozwiązania teorii QCD w ramach sieciowej teorii pola (LQCD). Obszar niskich temperatur i dużych gęstości jest prawdziwym wyzwaniem fizyków, bowiem nie jest on dostępny dla obliczeń w oparciu o LQCD i wymaga modelowego podejścia teoretycznego. Gęsta materia QCD jest produkowana w warunkach eksperymentalnych w trakcie ultra-relatywistycznych zderzeń ciężkich jonów (HIC) oraz występuje także we wnętrzu gwiazd zwartych. Analiza danych eksperymentów HIC w CERN, BNL w USA oraz GSI w RFN, jak również dane obserwacji astrofizycznych gwiazd neutronowych i ich fuzji dostarczają cennych informacji o strukturze materii QCD.



**Rysunek:** Dwa możliwe scenariusze diagramu fazowego QCD w płaszczyźnie temperatury i potencjału chemicznego: (Lewa strona) Przejście fazowe jest 1-go rodzaju zakończone punktami krytycznymi. (Prawa strona) Ciągła zmiana faz. Z publikacji: F. Fukushima, C. Sasaki *Prog. Part. Nucl. Phys.* 72, 99 (2013).

Głównym celem tego projektu jest pogłębienie naszego fundamentalnego zrozumienia struktury materii QCD oraz jej własności i opisu teoretycznego w oparciu o analizę danych eksperymentalnych HIC oraz obserwacje astrofizyczne. Szczególnie ważnym jest znalezienie i weryfikacja sygnatur odzyskania symetrii chiralnej QCD oraz uwolnienia koloru. W tym kontekście przedstawimy między innymi, obliczenia równania stanu, hadronowych i elektromagnetycznych funkcji spektralnych z uwzględnieniem efektów kolektywnych wynikających z oddziaływania z materią, własności fluktuacji i korelacji ładunków jak i opis krotności i widm produkowanych hadronów, fotonów i di-leptonów. Wyniki badań teoretycznych będą weryfikowane poprzez dane eksperymentalne oraz obserwacje astrofizyczne. Realizacja tego projektu będzie istotnym krokiem w kierunku zrozumienia danych empirycznych oraz nieperturbacyjnych efektów krytycznych i diagramu fazowego QCD.