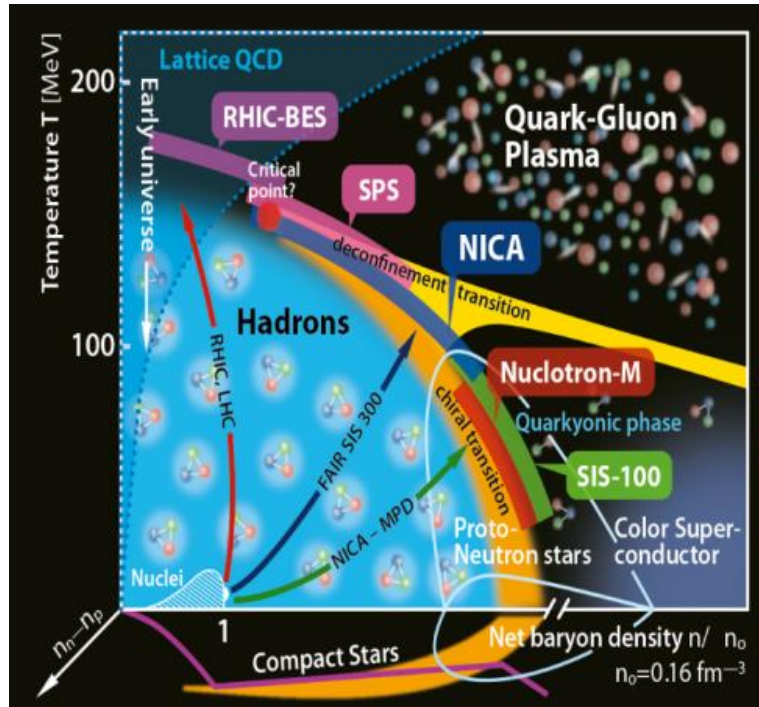


## РЕЛЯТИВИСТСКАЯ ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА В ПИЯФ

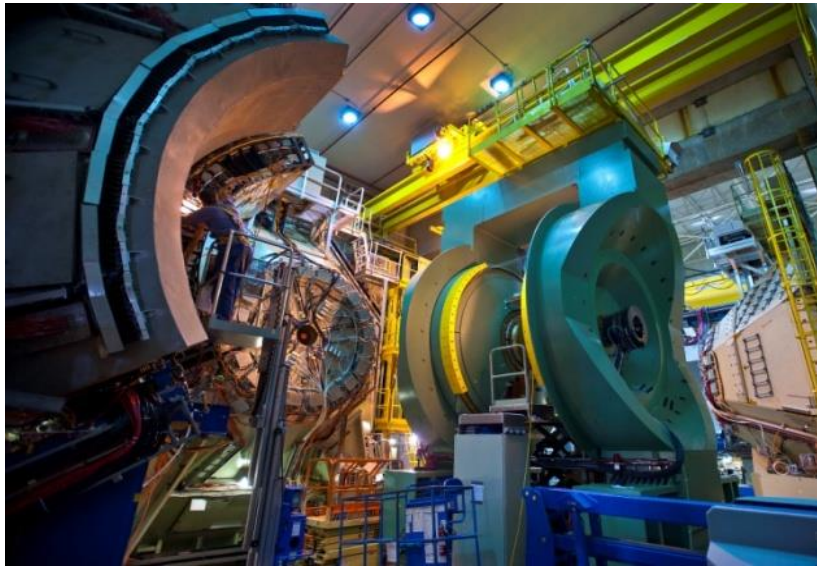
**ЛАБОРАТОРИЯ РЕЛЯТИВИСТСКОЙ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ ПИЯФ** в составе коллабораций **RHENIX** на Коллайдере Релятивистских Ионов (RHIC, США), **ALICE** на Большом Адронном Коллайдере (LHC, ЦЕРН), **CBM** и **MPD** на строящихся ускорительных комплексах **SIS100**, **SIS300** (FAIR, Германия) и **NICA** (ОИЯИ, Дубна, Россия) участвует в реализации амбициозной программы по исследованию экстремальных состояний ядерного вещества в широкой области температур  $T$  и барионных плотностей  $\rho=n/n_0$ , схематически показанной на  $T - \rho$  фазовой диаграмме.



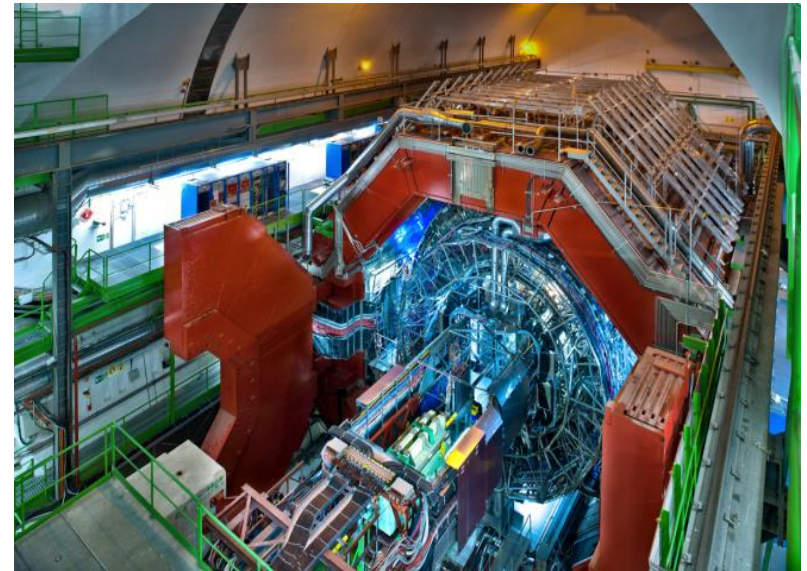
Стандартная модель сильных и электрослабых взаимодействий и современные космологические модели ранней Вселенной в совокупности с большим объемом имеющихся астрофизических данных свидетельствуют о том, что в первые микросекунды после Большого Взрыва при температуре  $T > 200$  МэВ (в 100000 раз больше температуры в центре Солнца) ядерная материя во Вселенной состояла из глюонов (gluons) и практически безмассовых кварков (quarks) - в виде кварк-глюонной плазмы (QGP). В процессе эволюции - расширения и остывания QGP, происходят фазовые переходы: спонтанное нарушение киральной (chiral) симметрии и конфайнмент (confinement). Кварки приобретают динамическую массу и вместе с глюонами оказываются плененными внутри массивных адронов (hadrons) - нуклонов и мезонов. Только спустя несколько минут, когда температура во Вселенной падает ниже миллиарда градусов, начинается синтез легких ядер. На фазовой диаграмме эта область локализована вблизи  $\rho=1$ .

В лабораторных условиях в микрообъеме, сравнимом с объемом тяжелого ядра, формирование Кварк-Глюонной Плазмы (КГП) и ее эволюцию можно исследовать в центральных столкновениях ультрарелятивистских ядер. С этой целью были построены уникальные детекторы STAR и PHENIX на коллайдере Релятивистских Тяжелых Ионов (RHIC) и детектор ALICE на Большом Адронном Коллайдере (LHC). ПИЯФ внес существенный вклад в разработку и производство дрейфовых камер центральной трековой системы в эксперименте PHENIX, трековых камер мюонного спектрометра и мюонного форвардного трекера в эксперименте ALICE, а также принимает активное участие в получении, обработке и анализе экспериментальных данных.

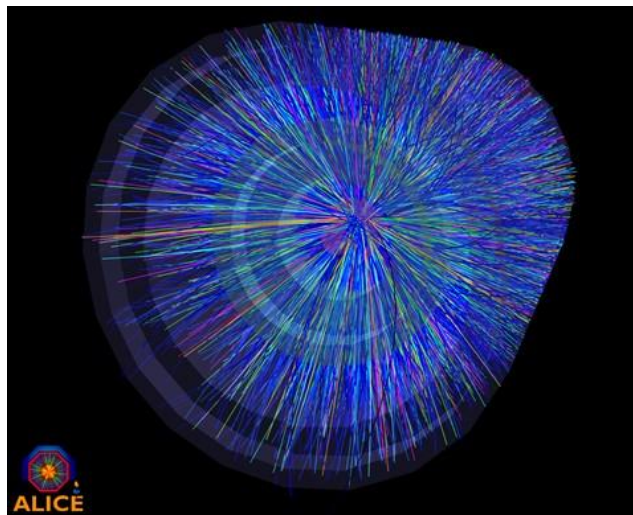
Детектор PHENIX, Вес 4000 тонн, Длина 12 метров, Высота 12 метров, 12 детекторных подсистем



Детектор ALICE: Вес 10000 тонн, Длина 26 метров, Высота 16 метров, 18 детекторных подсистем



Характерная черта этих детекторов – возможность регистрировать события с очень высокой множественностью рожденных частиц. Пример реконструированного события РbРb столкновения (каждая линия – трек частицы), зарегистрированного в детекторе ALICE.

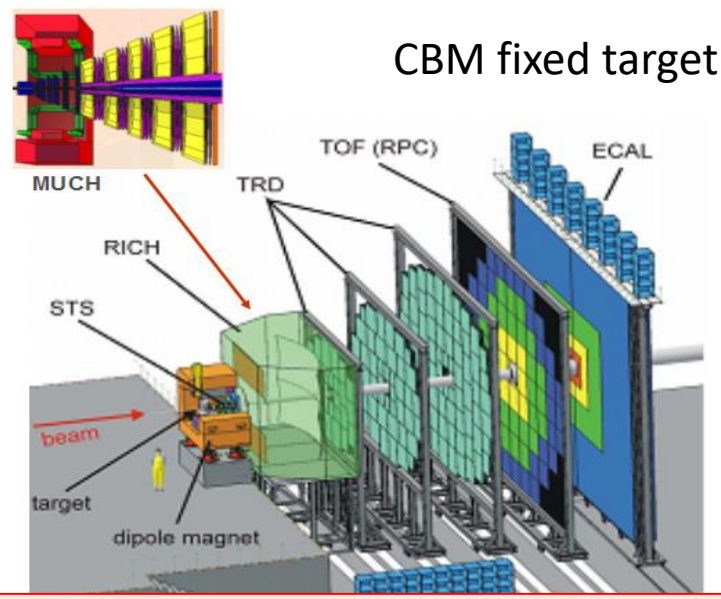
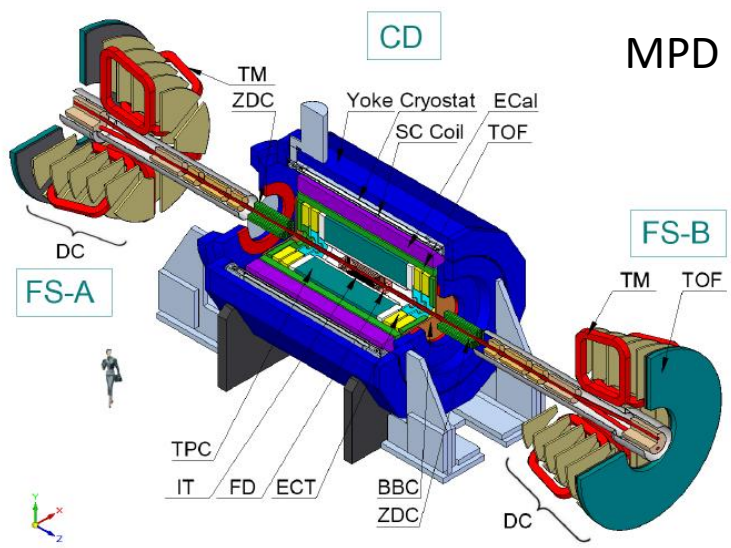


**Фундаментальное открытие: В центральных столкновениях ультррелятивистских тяжелых ионов в области взаимодействия формируется сильновзаимодействующая кварк-глюонная плазма sQGP, обладающая признаками почти идеальной жидкости с отношением сдвиговой вязкости к энтропии близким к унитарному пределу. При энергии сталкивающихся ядер 2500 ГэВ/нуклон, доступной на LHC, температура на начальной стадии эволюции sQGP достигает рекордных значений 300 МэВ, т.е.  $T \approx 3.5 \cdot 10^{12}$  градусов.**

Широкий спектр фундаментальных физических явлений характерен и для исследования свойств ядерной материи при барионных плотностях, в несколько раз превышающих ядерную плотность, и более низких температурах 10 – 100 МэВ . В этой области может возникать смешанное состояние кварковой и барионной материй, происходить фазовый переход с восстановлением киральности и переход в фазу кварковой материи, могут существовать пространственно неоднородные фазы типа “кристалл”. Весь спектр этих состояний характерен для физики внутренних слоев и кора нейтронных звезд.

Формирование состояния ядерной материи с высокой барионной плотностью в лаборатории возможно, используя столкновения пучков тяжелых ионов с энергиями в интервале (2 – 10) ГэВ/нуклон. Именно на исследования в этой области нацелены эксперимент MPD на строящемся коллайдере NICA и эксперимент CBM на ионных пучках будущего ускорительного комплекса FAIR.

Схематический вид детекторов MPD и CBM



Продолжение экспериментальных исследований в ближайшие десять лет предусматривает изучение всех областей фазовой диаграммы экстремальных состояний ядерной материи, получение новой детальной информации, важной для дальнейшего прогресса в решении фундаментальных проблем космологии, астрофизики и физики, включающей развитие непертурбативной Квантовой Хромодинамики, квазиклассических методов в теории калибровочных полей, релятивистской гидродинамики с учетом вязкости и голографических подходов, основанных на дуальности гравитации и режима сильной связи в конформных теориях поля.