

НАБЛЮДЕНИЕ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА ЖИДКОСТЬ–ГАЗ ПРИ АННИГИЛЯЦИИ АНТИПРОТОНОВ В ЯДЕРНОЙ ЭМУЛЬСИИ

В. В. Дубинина, Н. П. Егоренкова, Е. А. Пожарова, В. А. Смирнитский *

Реферат

Конкурс научных работ, ИТЭФ, 2020 г.

Изучению коллективных процессов в ядрах посвящено большое количество экспериментальных и теоретических работ. В этих работах приходилось учитывать передачу ядру большого линейного и углового импульсов, характерных для взаимодействий с частицами высоких энергий. При наблюдении фазового перехода желательна энергия возбуждения ядра без передачи ему большого линейного и углового импульсов. Этим условиям отвечает аннигиляция остановившихся антипротонов в ядерной фотоэмульсии. Действительно, при аннигиляции антипротонов со связанными нуклонами ядра выделяется энергия ~ 2 ГэВ. В нашем эксперименте мы рассмотрели ядерную материю при описании её состояния (EoS) уравнением Ван-дер-Ваальса, что позволило нам, в зависимости от температуры (τ), определить давление (P), плотность (n) и, на основании этих измерений, оценить границу спиновидальной области – область фазовой неустойчивости. Если горячее ядро при расширении за счёт теплового давления пересекает эту границу, то возникает фазовый переход – развал ядра в спиновидальной области (тепловая фрагментация). Аннигиляция антипротонов наблюдалась нами в эмульсионной камере, облученной в ЦЕРНе на ускорителе LEAR антипротонами с энергией ~ 100 МэВ (пробег в эмульсии ~ 3 см). Было отобрано для измерений 500 остановок и аннигиляций антипротонов. Энергетический спектр 1422 испарительных частиц (b, bg) позволил нам оценить энергию возбуждения и температуру ядра. Энергия этих частиц определялась по пробегу до остановки, считая их протонами. Спектр испарительных частиц, наилучшим образом, описывается двумя уравнениями Максвелла с ($\chi^2 \sim 1$). Основным источником медленных (15-20 МэВ) частиц служит статистический механизм их испарения из возбужденного ядра с температурой $\tau \approx 2.5 \pm 0.1$ МэВ, а энергичной части спектра (до 45 МэВ) с температурой - $\tau \approx 12.1 \pm 2.1$ МэВ. Для определения давления (p) и плотности (n), которые возникают в ядрах при аннигиляции антипротонов, мы воспользовались уравнением Ван дер Ваальса, описывающем состояние вещества (EoS) с учётом сил взаимодействия (силы Скирма: притяжение – отталкивание), которое предсказывает существование фазового перехода жидкость – газ и критическое состояние вещества. Численные значения (p) и (n) вычислены в рамках статистики Больцмана (с учётом квантовой статистики). В результате измерений и вычислений мы имеем: температуру, давление и

плотность ядерной материи - полную информацию о EoS при аннигиляции антипротонов, остановившихся в ядерной фотоэмульсии:

$$\tau = 12.1 \pm 2.1 \text{ МэВ}, \quad P \approx 0.12 \text{ МэВfm}^{-3}, \quad n \approx 0.09 \text{ fm}^{-3}$$

На рис.1 показаны: изотермы (p^*, τ^*, n^*) для двух нормированных значений температуры: 1 – (критическая), 2 – ($\tau = 12.1 \text{ МэВ}$) и точками наружная граница спинодальной области, которая проходит через значения изотерм, отвечающие нулевой сжимаемости - $(\partial p / \partial n)_\tau = 0$. В спинодальной же области (окрашена серым цветом) система имеет отрицательную сжимаемость - с ростом давления плотность падает. Для ядерного вещества в спиноальной области характерна фазовая нестабильность: мгновенный переход из однородного состояния на смесь двух фаз – капельки жидкости (фрагменты), окруженные «ядерным газом» (нуклонами). Таким образом мы впервые наблюдали при аннигиляции антипротонов состояние, соответствующее фазовому переходу ядерной материи.

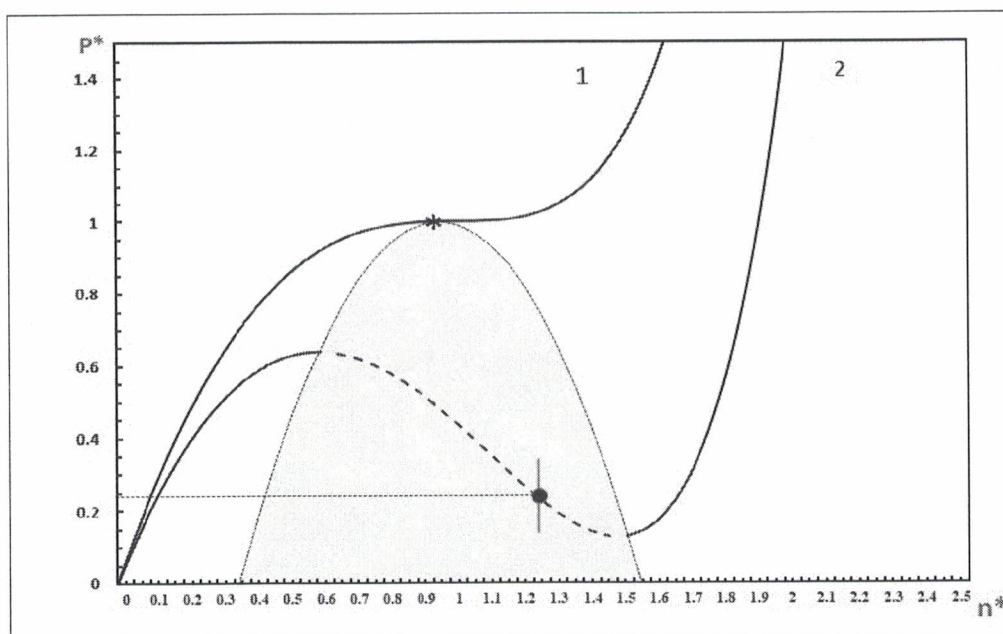


Рис.1 Сплошные кривые на рисунке изотермы при критической температуре (1) и аннигиляции антипротонов (2). Пунктиром на изотерме (2) показана область неустойчивого равновесия. Точками показана «спинодаль» -наружная граница спинодальной области (окрашена в серый цвет). Точками (* и •) обозначены давление и плотность: в критической точке (*) и при аннигиляции антипротонов (•).

В.А.Смирнитский *Смирнитский*