

УДК 539.1.075

**ПРИМЕНЕНИЕ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ПЛОТНОСТИ
УЛЬТРАХОЛОДНЫХ НЕЙТРОНОВ НА РЕАКТОРЕ ПИК**

Серебров А.П. (НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ), **Коваленко А.Н.** (Университет ИТМО), **Коптюхов А.О.** (Университет ИТМО), **Лямкин В.А.** (НИЦ «Курчатовский институт» - ПИЯФ)

Научный руководитель – д.т.н., профессор Коваленко А.Н.
(Университет ИТМО)

Для экспериментов нового поколения в областях физики слабых взаимодействий и астрофизики необходима статистическая точность связанная с высокой плотностью ультрахолодных нейтронов. Для её достижения необходимо уменьшать температуры криогенных жидкостей, используемых для термализации реакторных нейтронов.

Введение.

В исследованиях области физики слабых взаимодействий и астрофизики важным инструментом являются ультрахолодные нейтроны (УХН). Это нейтроны полученные замедлением реакторных нейтронов до низких энергий порядка 10^{-7} эВ.

УХН обладают свойством отражаться от поверхности материалов, оптический потенциал которых больше кинетической энергии нейтрона. Это позволяет удерживать УХН в вакуумных сосуда до времени жизни, ограниченного β -распадом. Поляризованные УХН могут так же удерживаться магнитным полем. Удержание нейтрона является одним из способов измерения его времени жизни, наблюдению эффектов, не предсказанных Стандартной Моделью: возможностью осцилляций в зеркальный нейтрон, наличие у нейтрона электрического дипольного момента.

Основным недостатком этих экспериментов является недостаточной плотности получаемых УХН. Значительное увеличение плотности позволит улучшить статистическую точность этих измерений. Для этого по всему миру ведутся работы по созданию высокопоточных источников УХН. В них плотность УХН предлагается увеличивать за счёт использование нового принципа – рассеяния нейтронов до очень низких энергий при фононном возбуждение в гелии-4. Такие работы ведутся и в Петербургском Институте Ядерной физики, расположенном в Гатчине. На текущей момент создана полномасштабная модель источника, в которой гелий-4 удалось охладить до 1.3К вакуумной откачкой [1]. Однако для достижения максимальной плотности необходима температура гелия-4 порядка 1К.

Способ увеличения плотности УХН. Для достижения температуры 1К прямой откачкой гелия-4 требуется дорогостоящего вакуумного оборудования, т.к. давление насыщенных паров гелия-4 при 1К составляет 50 Па [2]. Данная проблема может быть решена отводом радиационного тепла от гелия-4 гелием-3 через теплообменник типа «труба в трубе». Температуру гелия-3 можно поддерживать более дешевым и более компактным оборудованием, что важно в условиях ограниченного пространства в экспериментальных залах реактора ПИК. Нужную температуру гелия-3 в таком случае можно поддерживать, создавая на порядок большее давление (1159 Па при 1К, 850 Па при 0.8 К). Однако между двумя гелиями будет создаваться температурный напор за счёт скачка Капицы и теплового моста между капсулой с гелием и теплообменником [3]. Для того чтобы свести температурный напор к минимуму при проектировании теплообменника была разработана математическая модель тепловых процессов в камере со сверхтекучим гелием, учитывающая так же контактное тепловой сопротивление. Она была реализована в универсальном решателе на основе метода конечных элементов. В результате был спроектирован теплообменник в котором температурный напор составил 0.2К.

Выводы. Для термостатирования гелия-4 на температурном уровне 1 К в условиях реакторных тепловых нагрузок выгоднее использовать теплообменник с гелием-3. Численное моделирование показало, что можно спроектировать теплообменник с тепловым напором 0.2 К.

Несмотря на потерю температуры задача получения 1К становится решаемой имеющимся вакуумным оборудованием т.к. давление насыщенных паров гелия-3 при 0.8К все равно больше давления насыщенных паров гелия-4 при 1К.

Литература.

1. Серебров А.П., Лямкин В.А., Прудников Д.В., Кешишев К.О., Болдарев С.Т., Васильев А.В. Запуск полномасштабной модели источника ультрахолодных нейтронов со сверхтекучим гелием // Журнал технической физики. 2017. Т. 87. № 2. С. 301–305.
2. Huang Y.H., Chen G.B. A practical vapor pressure equation for helium-3 from 0.01 K to the critical point // Cryogenics- 2006, Vol.46, No. 12, pp. 833-839
3. И.М. Халатников, Теория сверхтекучести, Наука, Москва (1971).