

Краткое описание экспериментов по физике кипения, планируемых украинскими и российскими учеными

Эксперимент	Организация-поставщик	Объект исследования
№ 1	Физико-технический институт низких температур им. Б. И. Веркина НАН Украины	Рост и отрыв паровых пузырей на единичном центре парообразования
№ 2	Физико-технический институт низких температур им. Б. И. Веркина НАН Украины	Возникновение и движение границы между областями с пузырьковым и пленочным режимами кипения в одномерной и двумерной схемах кризиса теплообмена
№ 3	Московский энергетический институт (МЭИ), Россия	Возникновение и динамика паровой пленки; теплообмен при пленочном кипении
№ 4	Московский инженерно-физический институт (МИФИ), Россия	Теплообмен и режимы парообразования при «набросе» мощности
№ 5	Институт высоких температур РАН (ИВТРАН), Россия	Теплообмен и режимы парообразования на поверхности с пористым покрытием

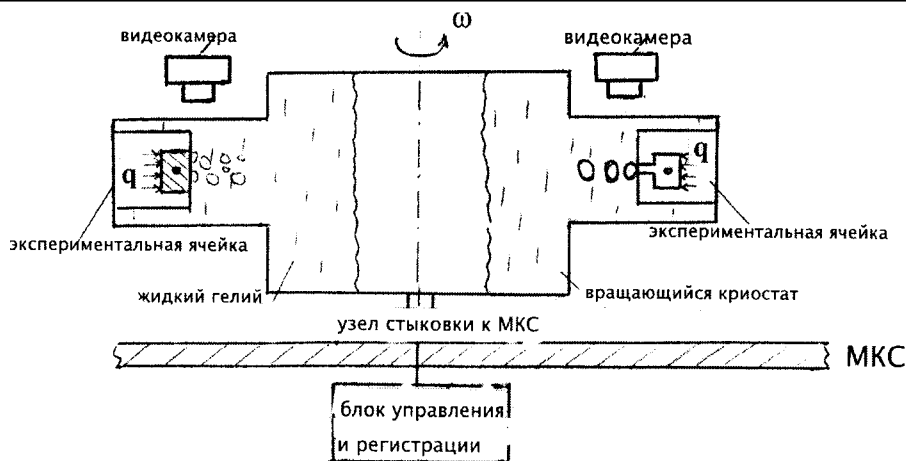


Рис. 1. Упрощенная схема установки

функциональных возможностей и проведения перспективных экспериментов.

ПЕРВООЧЕРЕДНЫЕ РОССИЙСКО-УКРАИНСКИЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ ПО КИПЕНИЮ В ЖИДКОМ ГЕЛИИ

Анализ содержания предложенных на сегодняшний день научных экспериментов показал их значительную близость в способах реализации.

Все пять предлагаемых экспериментов состоят в подводе тепла к неподвижному или движущемуся жидкому гелию с целью вызвать парообразование, в измерении температур гелия и тепловыделяющей поверхности, в видеорегистрации процессов фазового перехода «жидкость—пар» (определение положения и скорости движения поверхности раздела фаз) и в создании определенных микроускорений.

Четыре эксперимента выполняются в нормальном гелии, один — в сверхтекучем. Большинство экспериментов относится к изучению кризисных переходов между режимами теплообмена в жидком гелии и эффектов нестационарности; некоторые касаются влияния свойств поверхности кипения на парообразование и теплообмен.

Проведя также эксперименты на нагревателях с

различной шероховатостью и выполненными из различных материалов, получаем дополняющие друг друга данные, дающие достаточно развернутую картину различных случаев кипения.

Содержание экспериментов объединенной российско-украинской программы по кипению таково.

Эксперимент № 1 (поставщик ФТИНТ) выполняется в нормальном гелии под давлением, близком к атмосферному. Цель эксперимента — получить видеозапись роста и отрыва паровых (газовых) пузырей в гелии на единичном центре парообразования при трех уровнях искусственной микрогравитации (разные скорости вращения криостата). Для подготовки эксперимента были разработаны и изготовлены макеты нагревателя и системы видеосъемки. На рис. 2 представлена схема разработанной конструкции нагревателей.

Эксперименты № 2 и № 3 (поставщик ФТИНТ) выполняются при условиях, аналогичных эксперименту № 1. Цель этих экспериментов — изучение влияния микроускорений на устойчивость пузырькового и пленочного режимов кипения гелия к локальным тепловым возмущениям, а также динамики автоволнового процесса кризисной смены режимов кипения вследствие потери устойчивости.

Предполагается исследовать задачу при локали-

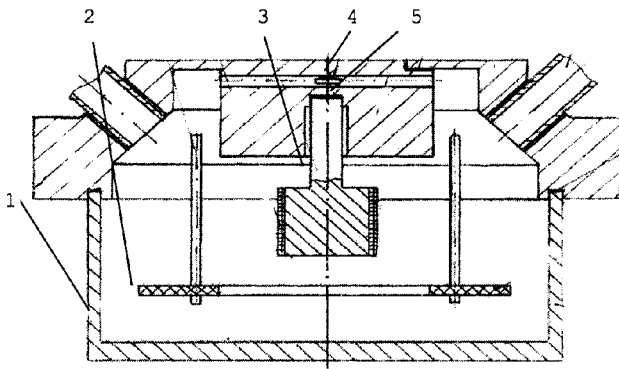


Рис. 2. Схема нагревателя 1 — тело нагревателя, 2 — вакуумная изоляция, 3 — тепловыделяющий элемент, 4 — центр кипения, 5 — датчик температуры

зации возмущения в центре круглой пластины, эксперимент и локализация возмущения в небольшой зоне узкого кольца. Режим подачи мощности или квазистационарный (последовательное повышение и снижение мощности малыми ступенями на всей поверхности), или наброс мощности (быстрое включение одной высокой ступени — имитация возмущения), или полное выключение — в зоне возмущения.

Эксперимент № 3 (постановщик МЭИ) выполняется в сверхтекучем гелии на цилиндрической поверхности кипения, окруженной пористым экраном. Цель эксперимента — исследование влияния различных микроускорений на возникновение и распад паровой пленки, отделяющей сверхтекучую жидкость от нагреваемой поверхности (т. е. опять-таки на кризисный переход между режимами однофазной конвекции и кипения), а также на движение границы между паровой пленкой и жидким гелием (рис. 3). Режим подачи мощности — увеличение и снижение большими ступенями сверхкритического уровня.

Эксперимент № 4 (постановщик МИФИ) выполняется в условиях, аналогичных экспериментам № 1—3. Плоская поверхность кипения также близка по характеристикам к используемой в эксперименте № 2. Электрообогрев равномерен по поверхности, однако существенно нестационарен по времени. Он производится скачком в виде наброса мощности от нуля до уровня, превышающего критический. Цель эксперимента — исследовать влияние различных микроускорений и величины набрасываемых плотностей теплового потока на время между набросом и развитием кризиса кипения, а также на динамику температуры поверхности кипения, образование и движение паровой фазы (рис. 4).

Эксперимент № 5 (постановщик ИВТАН) выполняется в условиях и на поверхности кипения, аналогичной используемой в эксперименте № 2, за

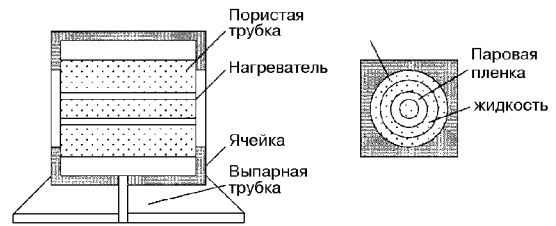


Рис. 3. Экспериментальная ячейка

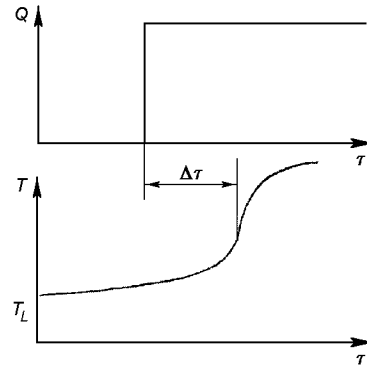


Рис. 4. Схема подачи мощности и изменения температуры

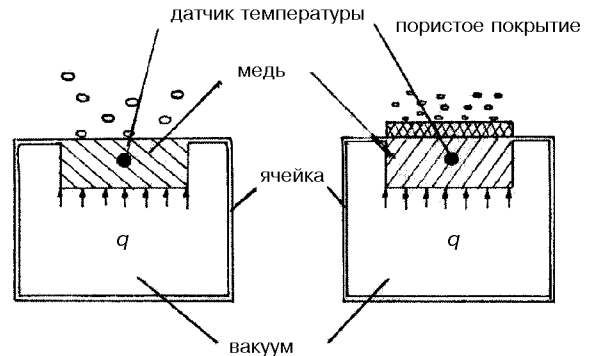


Рис. 5. Экспериментальная ячейка

исключением того отличия, что на поверхность нанесены металлические пористые покрытия (рис. 5). Цель эксперимента — определить влияние различных уровней микроускорения и различных характеристик покрытия (толщина, пористость, проницаемость) на теплообмен в жидком гелии, в особенности на критические плотности теплового потока. Режим изменения мощности — квазистационарный (т. е. малыми ступенями).

**ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ
В ЖИДКОМ ГЕЛИИ И РАЗВИТИЕ
КОСМИЧЕСКОЙ КРИОГЕННОЙ УСТАНОВКИ**

Перекачка криогенной жидкости в космосе играет важную роль для дозаправки систем охлаждения космических аппаратов. В первых опытах, прове-

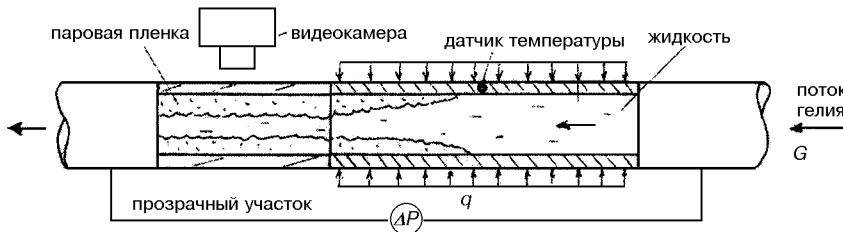


Рис. 6. Схема экспериментального устройства

денных американскими учеными, была обнаружена высокая чувствительность процесса к ускорениям космического аппарата. На российском модуле предполагается провести исследования по перекачке гелия для отработки наиболее надежной методики ее осуществления. С этой целью планируется поставить эксперимент «Криомагистраль» (постановщик ЦНИИМАШ) для выяснения физики движения жидко-паровой смеси в канале.

Эксперимент «Криомагистраль» выполняется в сверхтекучем гелии с использованием экспериментального трубопровода, непрозрачная часть которого оснащена электронагревателем и датчиками температуры стенок, а прозрачная часть позволяет наблюдать за процессами течения двухфазного потока и определять скорости фаз (рис. 6). Цель эксперимента — изучить влияние уровня микрогравитации и скорости потока гелия на теплообмен со стенкой трубопровода, структуру двухфазного потока и режимы течения, гидравлическое сопротивление. Режим изменения мощности — квазистационарный, т. е. небольшими ступенями.

Среди других планируемых экспериментов можно отметить:

- исследование перехода от режима передачи тепла теплопроводностью к режиму конвективного теплообмена в условиях управляемой микрогравитации;
- исследование конвекции в жидком гелии при разных уровнях микрогравитации;
- наблюдение за образованием газовых пузырей в жидком гелии при прохождении через него космических частиц;
- исследование бортовых сверхпроводящих детекторов гравитационных волн.

Постановка этих экспериментов требует дальнейшего развития КПУ как криогенной космической лаборатории, в которой возможно реализовать различные уровни гравитации и осуществить визуализацию процессов в жидком гелии, чего, по нашим сведениям, не удалось реализовать и не планируется никем на МКС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Украинская криогенная полетная установка для МКС находится в стадии технического проектирования.

2. Проведено обоснование и согласование первоочередных совместных российско-украинских экспериментов в жидком гелии с помощью криогенной полетной установки. В основном это эксперименты по кипению и теплообмену в сверхтекучем и нормальном гелии.

3. Широкий спектр возможных перспективных исследований является предпосылкой развития криогенной полетной установки в будущем.

1. Bondarenko S., Rusanov K., Shcherbakova N. // J. Low Temp. Phys.—2000.—119.—P. 203.
2. Bondarenko S., Rusanov K., Shcherbakova N. // Proceedings of the 5th Chino-Russian-Ukrainian Symposium on Space Science and Technology, June 6-9, 2000, Kharbin, People Republic of China.—2000.—2.—P. 594.

PROGRAM OF THE RUSSIAN-UKRAINIAN INVESTIGATIONS OF THE HYDRODYNAMICS AND HEAT TRANSFER IN LIQUID HELIUM ABOARD THE INTERNATIONAL SPACE STATION

S. I. Bondarenko, R. V. Gavrylov, V. V. Yeremenko, K. V. Rusanov, N. S. Shcherbakova, I. M. Dergunov, A. P. Kryukov, P. V. Korolev, Yu. Yu. Selyaninova, V. M. Zhukov, V. S. Kharitonov, K. V. Kutsenko, V. I. Deev, V. A. Shuvalov

We present the Program of joint Ukrainian and Russian experiments aboard the International Space Station (ISS) with the use of the Cryogenic Flight Facility (CFF) that is under development in Ukraine at present. The CFF allows one to ensure controlled acceleration in the range of (0.01—0.0001)g by means of the cryostat rotation and to visualize processes in liquid helium. The investigation of phenomena of liquid helium boiling is among the experiment to be carried out first. To realize each experiments, the same cryostat, control unit inside the ISS as well as various experimental cells with heaters and temperature sensors will be used. The integration of the five experiments into one scientific program saves time and recourses. A broad spectrum of conceivable promising investigations is a prerequisite to be further evolution of the CFF as a space cryogenic laboratory.