

3-й Международный семинар по физике низких температур в условиях микрогравитации (CWS-2002)

С 12 по 18 августа 2002 г. в Научном центре Черноголовка РАН проходил 3-й Международный семинар по физике низких температур в условиях микрогравитации CWS-2002. По традиции семинар CWS-2002 был включен в список сателлитных конференций и семинаров, посвященных одному из быстро развивающихся направлений в физике низких температур, которые сопутствуют проводимой раз в три года Международной конференции по физике низких температур (конференция LT-23 проходила в Хиросиме, Япония, 20–27 августа 2002 г.). Семинар CWS-2002 был организован Институтом физики твердого тела РАН и секцией «Космическое материаловедение» Совета по космосу РАН при поддержке Российской академии наук, Министерства промышленности, науки и технологий РФ, Российского фонда фундаментальных исследований и Росавиакосмоса. Мы благодарны также Оргкомитету LT-23 (в первую очередь Prof. Shun-ichi Kobayashi и Dr. Kimitoshi Kono), Национальному управлению по авиации и космическим исследованиям США и Лаборатории реактивного движения (Dr. M.C. Lee и Dr. U.E. Israelsson), а также фонду INTAS (грант 02-МО-263, ведущий специалист отдела Prof. L. Esquivias) за поддержку семинара. В рамках семинара был проведен круглый стол участников проектов, которые были поддержаны фондом INTAS в 2001 и 2002 гг.

В подготовке научной программы и проведении семинара активное участие принимали участники Международных Организационного и Программного комитетов и члены Локального комитета, сотрудники ИФТТ РАН М.Ю. Бражников, В.Б. Ефимов, А.М. Кокотин, Г.В. Колмаков, Н.Ф. Лазарева, Е.В. Лебедева, А.А. Левченко, О.И. Левченко, М.К. Макова, Ю.М. Романов, В.Б. Шикин.

На заседаниях CWS-2002 присутствовало около 120 участников из 10 стран: России, Украины, США, Финляндии, Казахстана, Дании, Франции, Англии, Японии и Грузии, которые представляли Национальные космические агентства России, Украины, США и Японии, а также учреждения Академии наук и университеты ряда стран, которые проводят исследования в области физики и техники

низких температур и были бы заинтересованы в постановке соответствующих экспериментов на борту космических аппаратов. На устных и постерных сессиях было представлено 72 доклада, тезисы которых опубликованы в сборнике [1]. Поскольку объем рекомендованных к печати и исправленных авторами в соответствии с замечаниями рецензентов докладов превышает допустимый объем журнала «Физика низких температур», в данном выпуске публикуется только часть из присланных в Программный комитет финальных версий докладов, наиболее близких к тематике семинара. Предполагается, что оставшаяся часть присланных докладов будет опубликована без дополнительного рецензирования в журнале в 2003 г. с пометкой о том, что доклад был представлен на семинаре CWS-2002.

Тематику представленных на семинаре докладов можно кратко сформулировать следующим образом:

- основные направления развития низкотемпературных исследований в космосе; планы постановки новых фундаментальных исследований и создания технической базы, необходимой для проведения низкотемпературных экспериментов на борту МКС;
- моделирование процессов теплообмена на границе твердое тело — жидкий гелий в условиях микрогравитации;
- нелинейные волны в объеме и на поверхности квантовых жидкостей; особенности роста гелиевых кристаллов и явления на поверхности твердого гелия;
- нанокластерные конденсаты в сверхтекучем гелии;
- криослои и криокристаллы;
- ультрахолодные атомы и частицы, БЭК.

Из 72 представленных на семинаре устных и постерных докладов [1] к печати авторами подготовлено только около половины списка, поэтому ниже кратко обсудим содержание наиболее интересных для широкой аудитории докладов.

1. На открытии заседаний в выступлениях председателя семинара Ю.А. Осипьяна и представителя Росавиакосмоса Ю.Е. Левицкого было отмечено, что за 45 лет, прошедших с момента запуска с поли-

гона Байконур первого искусственного спутника Земли, космическая техника и технология прочно вошли в жизнь современного общества (спутниковые связь и телевидение, метеослужба и навигация и др.). Использование в космической технике достижений современной науки приводит к расширению области практического применения космических аппаратов, что, в свою очередь, стимулирует постановку на орбите новых исследований в области фундаментальной науки. Вместе с тем высокая стоимость космического эксперимента диктует необходимость создания государственной многоступенчатой системы конкурсного отбора, предусматривающей на первом этапе поддержку достаточно широкого круга наземных исследований в качестве базы, необходимой для последующего выбора наиболее значимых и хорошо подготовленных экспериментов на борту космических аппаратов. Все это необходимо учитывать при формировании долгосрочных планов исследований на космических аппаратах.

Прогресс в космических исследованиях во многом обязан широкому внедрению криогенной техники. Известно [2], что криогенные жидкости, в первую очередь жидкие кислород и водород, служат топливными элементами космических двигателей, а охлаждаемые до гелиевых температур детекторы и электронные устройства позволяют на порядки повысить чувствительность и разрешение контрольно-измерительной аппаратуры и тем самым реализовать преимущества проведения долговременных научных исследований на орбите в условиях, недостижимых в наземных экспериментах. Например, Инфракрасная космическая обсерватория (Infrared Space Laboratory, ISO), выведенная на высокоэллиптическую орбиту Европейским космическим агентством ESA в 1995 г. и успешно проработавшая до середины 1998 г., базировалась на криостате емкостью 2200 л, заполненном перед запуском сверхтекучим гелием He II при температуре 1,8 К. В качестве детекторов на ISO использовали набор охлаждаемых полупроводниковых резисторов, рабочие температуры которых лежали в диапазоне от 1,8 до 10 К. А в современных спектрометрах рентгеновского диапазона предусмотрено использование детекторов, охлаждаемых до 65 мК [2].

В ближайшие два года должно быть завершено формирование многопрофильной Международной космической станции, включающей, в частности, крупногабаритный Российский исследовательский сегмент (РС МКС). Установка в 2005–2007 гг. на борту МКС атомных часов, в которых используются атомы металлов, охлажденные лазерной методикой до температур в сотые-тысячные доли микро-

кельвина, позволит на несколько порядков (от 10^{-14} до 10^{-17}) повысить относительное разрешение при измерении коротких (порядка секунды) временных интервалов [3]. Программы фундаментальных научных исследований на борту МКС, а также на возвращаемых космических аппаратах разрабатываются и проводятся под эгидой Росавиакосмоса, Национальных космических агентств США, Европейского Союза, Японии, Китая, Канады, Украины и других стран. Несомненно, что обсуждение результатов выполненных на орбите экспериментов и планов постановки новых исследований в широкой аудитории с участием исследователей, специализирующихся в данной конкретной области знаний, и научной молодежи может способствовать повышению эффективности отбора будущих экспериментов и привлечению новых исследователей. Это входило в число основных целей 3-го Международного семинара по физике низких температур в условиях микрогравитации.

2. Результаты выполненных в последнее десятилетие под эгидой NASA космических экспериментов по изучению кинетических явлений в сверхтекучем гелии вблизи точки T_λ фазового перехода жидкости из сверхтекучего в нормальное состояние и планы постановки новых фундаментальных исследований на борту МКС в ближайшем пятилетии подробно обсуждались в докладах U. Israelsson [3], J. Pensinger [4] и D. Strayer [5]. В 1985, 1992 и 1997 годах проведены 3 серии экспериментов. Удалось, в частности, изучить поведение теплоемкости сверхтекучего He II в непосредственной близости от T_λ (на расстоянии до 10^{-9} К от точки перехода в равновесных условиях) и, соответственно, уточнить значения параметров (критических экспонент), входящих в теорию фазовых переходов второго рода, а также изучить влияние размеров пор на сдвиг точки перехода T_λ в He II, заполняющем мелкопористый образец. Заметим, что в наземной лаборатории градиент давления в столбе сверхтекучей жидкости высотой 1 см под действием гравитационного поля Земли приводит к сдвигу T_λ на 10^{-6} К по сравнению с равновесным значением, а при переходе к тонким слоям необходимо учитывать влияние взаимодействия жидкости со стенками, т.е. измерения в условиях микрогравитации позволили продвинуться в недоступную в наземных экспериментах область температур вблизи T_λ . Чтобы обеспечить требуемое высокое разрешение по температуре на уровне $\sim 1 \cdot 10^{-10}$ К, в качестве термометров использовали образцы из парамагнитной соли, восприимчивость которых измеряли специально изготовленными сверхпроводящими квантовыми интерферометрами (СКВИД) высокого разрешения. Использование

подобной высокоразрешающей аппаратуры в сочетании с накопленным опытом низкотемпературных исследований на орбите позволяет значительно расширить рамки последующих космических экспериментов.

Планы фундаментальных исследований NASA на борту МКС на ближайшее пятилетие включают эксперименты в области физики низких температур и атомной физики, которые должны быть начаты в 2005 г. и продолжены до 2007 г., и исследования в области гравитационной физики — начало экспериментов на орбите запланировано на 2007 г. Чтобы обеспечить проведение низкотемпературных и гравитационных исследований на выносном блоке японского исследовательского модуля МКС, необходимо смонтировать специальную низкотемпературную установку (the Low Temperature Microgravity Physics Facility, LTMPF), наземные испытания которой проводятся в настоящее время в Лаборатории реактивного движения (Jet Propulsion Laboratory, JPL). В состав LTMPF входят 180-литровый дьюар со сверхтекучим He II, электронная аппаратура, предназначенная для измерения и контроля температуры, давления, уровня жидкого гелия и т.п. в дьюаре, а также для сопряжения с внешними датчиками радиационной обстановки и акселерометрами (первый блок), и два блока контрольно-измерительной аппаратуры, включающей СКВИД магнитометры для прецизионных измерений показаний магнитных термометров. Эта аппаратура будет использована для проведения одновременно двух независимых экспериментов на двух низкотемпературных вставках, которые устанавливаются внутри дьюара на специальных стойках, крепящихся по торцам цилиндрического дьюара. Каждая из вставок может быть использована для основного эксперимента и, при наличии времени, одного-двух дополнительных экспериментов.

Согласно графику работ, научные исследования на LTMPF должны быть начаты во второй половине 2005 г. Дьюар будет заполнен гелием и охлажден до 1,7 К на Земле незадолго перед запуском. Время работы дьюара на орбите около 4,5 месяцев. Далее установка LTMPF возвращается на Землю. Повторный запуск установки на орбиту планируется провести через 16–22 месяца.

Первые два низкотемпературных эксперимента на МКС будут посвящены изучению неравновесных явлений вблизи точки фазового перехода: а) критические явления вблизи T_λ в He II (Critical Dynamics in Microgravity, DYNAMX) — определение поведения теплопроводности вблизи границы раздела сверхтекучая—нормальная жидкость, где существенную роль играют нелинейные явления (мини-

мальные ускорения необходимы для уменьшения вариаций давления вдоль столба жидкости), и б) термодинамические измерения вблизи критической точки жидкость—газ в ^3He (Microgravity Scaling Theory Experiment, MISTE) — определение критических экспонент в непосредственной близости к критической точке T_{cr} . Дополнительные эксперименты в этой серии — измерения теплоемкости He II вблизи T_λ при постоянном тепловом потоке (Capacity at constant Q, CQ) и изучение формы кривой сосуществования жидкость—пар вблизи T_{cr} в ^3He (Coexistence Curve Experiment, COEX).

Вторая серия экспериментов в области физики низких температур на LTMPF включает: а) изучение граничных явлений в He II вблизи T_λ (Boundary Effects near the Superfluid Transition, BEST) — изучение свойств сверхтекучей жидкости в квазиодномерных и трехмерных порах, проверку пригодности динамической теории скейлинга и изучение критических транспортных явлений в порах; б) эксперименты с высокостабильным сверхпроводящим микроволновым осциллятором (Superconducting Microwave Oscillator, SUMO) — изучение особенностей взаимодействия тел различной массы на малых расстояниях. Результаты этих исследований могут представлять интерес для уточнения современных представлений в специальной и общей теории относительности, а само устройство может быть использовано в дальнейших экспериментах с атомными часами на орбите МКС. Конкурсный отбор наиболее перспективных проектов дополнительных экспериментов будет продолжен.

Рядом с низкотемпературной установкой LTMPF в 2005 г. планируется смонтировать установку для экспериментов с ультрахолодными атомами, охлаждаемыми методом лазерного охлаждения (Laser Cooled Atom Physics, LCAP). Приборное сопровождение этой установки будет рассчитано на широкий круг экспериментов и в первую очередь на поддержку длительных (свыше 1 года) исследований в области гравитационной физики с помощью высокостабильных атомных часов (Primary Atomic Clock in Space, PARKS). Запуск PARKS во второй половине 2005 г. позволит повысить точность измерений интервалов времени длительностью порядка секунды на один-два порядка по сравнению с существующей (ожидаемое разрешение до 10^{-16} с) и начать эксперименты по проверке эйнштейновской гипотезы инвариантности времени, сравнением рабочей частоты различных часов на разных участках орбиты. В конце 2007 г. на МКС должны быть введены в строй часы с рубидиевыми атомами (Rubidium Atomic Clock Experiment, RACE). Предполагается, что это еще на порядок повысит разрешение во вре-

мени по сравнению с PARKS и тем самым позволит существенно расширить область применения атомных часов в фундаментальных исследованиях.

В планы NASA входит также создание на борту МКС Лаборатории конденсированного состояния (Condensate Laboratory Aboard the Space Station, CLASS), предназначенной для охлаждения атомов существенно ниже 10^{-9} К и наблюдений бозе-эйнштейновской конденсации (Bose-Einstein Condensation, BEC) в растворах атомных газов при пониженной гравитации. Далее, используя охлажденные рубидиевые и цезиевые атомы в качестве тестовых масс, можно попытаться исследовать принцип эквивалентности гравитационной и инертной массы (Quantum Interferometer Test of Equivalence, QuITE). Конкурс проектов дополни-

тельных экспериментов в области атомной и гравитационной физики с использованием перечисленного выше оборудования будет продолжен в 2003 г.

По сообщению Y. Okuda [6], Японское космическое агентство NASDA также проводит конкурсный отбор заявок на проведение низкотемпературных экспериментов на борту МКС. В список принятых включены следующие проекты: «*Studies of Non-equilibrium Effects Near the Critical Point*», A. Onuki, Kyoto University; «*Non-linear Dynamics on the Non-equilibrium Open System under Control of Laser*», K. Yoshikawa, Kyoto University; «*Basic Research on Crystal Growth and Surface Physics of Quantum Crystals under Microgravity*», Y. Okuda, Tokyo Institute of Technology; «*Instability of Shear Flow in a Liquid Near the Critical Point*», A. Onuki,

Таблица

Основные направления исследований в области физики низких температур на Российском сегменте Международной космической станции

Наименование эксперимента	Содержание исследований	Предполагаемые участники работ
«Гелий»	Фундаментальные исследования на межфазной поверхности гелия	МЭИ, РКК «Энергия», РГНИИ ЦПК и др.
«Волна-3 МКС»	Исследования в области тепломассообмена и гидродинамики в баке с криогенной жидкостью	ИЦ им. М.В. Келдыша, РКК «Энергия», РГНИИ ЦПК
Группа космических экспериментов «Кипение»	Фундаментальные исследования в области физики низких температур, отработка методов и средств эффективного и безопасного выполнения криогенных экспериментов в инфраструктуре РС МКС	ЦНИИМАШ, МЭИ, РНЦ «КИАЭ», Институты РАН (ИФП, ИВТ, ФИАН) и ФТИНТ НАНУ
«Единство»	Фундаментальные и прикладные исследования в области физики и техники низких температур	ЦНИИМАШ, НИИ ЯФ МГУ, РКК «Энергия» и др. организации
«Криокомплекс»	Реализация концепции единого комплекса криогенного оборудования для проведения одновременно нескольких экспериментов на борту РС МКС	ЦНИИМАШ, МЭИ, РКК «Энергия» и др. организации
«Солитон»	Фундаментальные исследования нелинейных явлений на поверхности конденсированного водорода	ИФТТ РАН, РКК «Энергия», РГНИИ ЦПК и др. организации
«Субмиллиметр»	Фундаментальные астрофизические исследования в доступном с Земли субмиллиметровом диапазоне электромагнитных волн с использованием криогенного телескопа	АКЦ ФИАН, РКК «Энергия», РГНИИ ЦПК, международная кооперация
«АМС»	Реализация фундаментальных физических и астрофизических исследований с использованием альфа-магнитного спектрометра со сверхпроводящей магнитной системой	НИИ ЯФ МГУ, РНЦ «Курчатовский институт», международная кооперация
«БСМК»	Отработка процессов высушивания биопрепаратов с использованием бортового сублимационно-морозильного комплекса (БСМК)	РАО «Биопрепарат», АОТ «Биохиммаш», РКК «Энергия», РГНИИ ЦПК
«Криоконсервация»	Отработка методов и технических средств криогенной консервации биологических препаратов на РС МКС	«Энергия», ЦПК, «Биохиммаш», «Биопрепарат»
«Кристаллизатор»	Исследования физических процессов кристаллизации белков с использованием криогенных технологических сред	ЦНИИМАШ, ИК РАН
«Полигон-1»	Отработка методов определения загрязнения атмосферы и земной поверхности с использованием криогенных ИК-газоанализаторов	ЦНИИМАШ и др. организации

Osaka Prefecture University; «*Variation Principle for Non-equilibrium Reaction-Diffusion Systems under Gravity*», К. Kitahara, International Christian University; «*Structure of Particulate Layer under Microgravity*», К. Nakamura, Kyoto University.

3. Планы исследований в области физики низких температур и криогенной техники на борту Российского сегмента МКС были представлены на семинаре в докладе сотрудников ЦНИИМАШа и Росавиакосмоса М.М. Цымбалюка [7] (см. таблицу) и В.А. Шувалова [8] и в выступлении представителя Украинского космического агентства С.И. Бондаренко [9].

Отметим, что сроки постановки летных экспериментов на борту РС МКС еще не установлены, обсуждение планов продолжается, поэтому приведенный в таблице список может быть в будущем заметно изменен. Например, возможность постановки серии экспериментов, включенных в проекты «Криокомплекс», «Кипение» и «Единство», в которых предполагается довольно большой расход жидкого гелия на орбите, зависит в первую очередь от выбора общей концепции организации низкотемпературных исследований на борту РС МКС. В проекте «Криокомплекс», содержание которого обсуждалось в докладе [8], для обеспечения возможности длительных измерений на нескольких температурных уровнях предлагается установить вне жилого блока РС три стационарных гелиевых дьюара, соединенных с системой перелива жидкого гелия, сбора, хранения и ожижения холодного газа, т.е. фактически предполагается собрать на борту РС МКС автономную криогенную станцию, способную обеспечить проведение на орбите одновременно трех различных экспериментов, включая эксперименты по тепломассообмену и динамике образования и движения газовых пузырьков в жидком гелии. Разрабатываемый по инициативе Украинского космического агентства проект «Кипение» [7,9] предусматривает изучение процессов кипения во вращающемся дьюаре с целью исследования особенностей теплопередачи на границе жидкий гелий—твердая стенка в условиях пониженной гравитации при ускорениях на уровне $(10^{-2}-10^{-6})g$.

Проекты «Гелий» и «Волна» объединяет постановка задачи исследований — компьютерное моделирование и экспериментальные исследования процессов тепло- и массообмена в объеме свободно кипящей жидкости (жидкого гелия или азота) и явлений на границе раздела криогенная жидкость—твердая стенка в условиях микрогравитации (механизмы кипения, рост пузырей, особенности теплопередачи в двухфазной системе). Некоторые из этих вопросов обсуждались в докладах А.П. Крюко-

ва [10] и В.И. Полежаева [11]. Экспериментальное их изучение необходимо и для решения практических проблем, возникающих при использовании криогенных жидкостей в космических двигателях и в системах охлаждения бортовой аппаратуры.

В рамках проекта «Солитон» предполагается провести серию статических и динамических исследований явлений на заряженной поверхности жидкого водорода в ячейке конечных размеров. Как указано в докладе А.А. Левченко [12], в проведенной в ИФТТ РАН серии наземных экспериментов обнаружено явление реконструкции формы поверхности жидкости: с увеличением внешнего растягивающего электрического поля выше некоторого критического E_{cr} на исходно плоской равномерно заряженной поверхности жидкого водорода образуется холм (уединенная стоячая волна), высота которого увеличивается при повышении поля. Из теоретических расчетов следует, что наблюдаемую реконструкцию заряженной плоской поверхности можно описать в терминах теории фазовых переходов второго рода, где роль внешней силы играет не температура, как в обычном рассмотрении, а тянущее электрическое поле. Реконструкция наблюдается в условиях, когда приложенное электрическое поле компенсирует поле силы тяжести. Переход к измерениям в условиях микрогравитации, где в ячейке конечных размеров существенную роль должно играть взаимодействие жидкости со стенками сосуда, может качественно изменить характер наблюдаемых явлений. На это указывают и результаты контрольных исследований эволюции формы поверхности заряженной пленки жидкого водорода, подвешенной на поверхности верхней пластины горизонтально расположенного плоского конденсатора, в которых электрические и гравитационные силы действуют в одном направлении. Если в дополнение к постоянному полю приложить переменное электрическое поле, то на поверхности жидкости возникают волны. Лабораторные эксперименты продемонстрировали возможность установления режима слабой волновой турбулентности на поверхности жидкого водорода при достаточно больших уровнях возбуждения. Более того, удалось наблюдать высокочастотный край колмогоровского спектра колебаний, где волновой режим переноса энергии сменяется вязким затуханием. Реконструкция поверхности заметно изменяет вид дисперсионной кривой $\omega(k)$, которая описывает зависимость частот волн, распространяющихся вдоль поверхности жидкого водорода, от их волнового вектора, что, в свою очередь, должно сильно повлиять на спектр нелинейных волн, возникающих на поверхности жидкости под действием переменной силы. Все это указы-

ваает на то, что постановка экспериментов по изучению нелинейных волн на заряженной поверхности жидкого водорода на борту космической станции может привести к существенному расширению существующих представлений в области физики нелинейных явлений в конденсированных системах, в частности, к пониманию особенностей распространения капиллярных волн на поверхности жидкости в условиях микрогравитации.

Проекты «Субмиллиметр» и «АМС» предполагают широкую международную кооперацию с участием российских и зарубежных ученых, сотрудничающих с ESA и NASA: в первом из них сверхпроводящие приемники излучения и электронная аппаратура будут предоставлены зарубежными учеными, изготовление всего остального оборудования и запуск телескопа на орбиту проводятся российской стороной; во втором предполагается, что российская сторона изготовит только сверхпроводящую магнитную систему альфа-спектрометра. Разрабатываемый в КИАЭ вариант устройства магнитной системы был представлен на семинаре в докладе Н.А. Черноплекова.

В указанных в таблице четырех последних проектах криогенная техника используется для обеспечения требуемых температурных режимов в экспериментах в области биологии и физики Земли.

4. Как видно из предыдущего раздела, тематика докладов, представленных на семинаре CWS-2002, заметно шире списка тем исследований в области физики низких температур, которые включены в планы Росавиакосмоса, NASA и других космических агентств на ближайшее пятилетие. К числу перспективных направлений, которые можно было бы рекомендовать включить в список проектов наземных исследований, поддерживаемых национальными космическими агентствами, следует отнести изучение свойств криослоев, образующихся при конденсации исследуемого вещества на холодной подложке, которые обсуждались, например, в докладах М.А. Стржемечного [13] и А.С. Дробышева [14], и возникшее недавно новое направление — изучение свойств примесных нанокластерных конденсатов (гелей), которые образуются при конденсации потока газообразного гелия с примесью паров исследуемого вещества в сверхтекучем гелии He II (доклады В.В. Хмеленко, Е.А. Попова и Л.П. Межова-Деглина [15–17]). Механизм образования примесных кластеров в холодной гелиевой струе, особенности взаимодействия этих кластеров между собой и с окружающей средой при температурах порядка 1 К, строение и свойства пористых нанокластерных систем — гелей, дисперсная система (каркас) которых образована примесными кластерами,

окруженными слоем отвердевшего гелия, а дисперсионной средой является жидкий гелий, влияние гравитационной обстановки на свойства образующихся конденсатов (наземные измерения, эксперименты в условиях микрогравитации) — выяснение ответов на все эти вопросы представляется важным не только для современного материаловедения, составной частью которого является физика конденсированного состояния, но и для астрофизики и космологии (пылевые облака в космосе при температурах порядка 3 К, космический лед и т.п.). Есть основания полагать, что примесные гели в сверхтекучем He II можно будет использовать для накопления и хранения свободных радикалов (низкотемпературные топливные элементы [15]), а также для накопления и хранения ультрахолодных нейтронов. Достижениям в области физики ультрахолодных нейтронов был посвящен доклад В.В. Несвижевского [18] на закрытии семинара.

Дополнительные сведения о семинаре CWS-2002 можно найти на сайте <http://www.issp.ac.ru/cws2002/>.

1. *The Third Chernogolovka Workshop on Low Temperature Physics in Microgravity Environment CWS-2002, Book of Abstracts*, Chernogolovka, Russia (2002).
2. B. Collaudin and N. Rando, *Cryogenics in Space: a Review of the Missions and Technologies*. *Cryogenics* **40**, 797 (2000).
3. U.E. Israelsson and M.C. Lee, *Use of the International Space Station for Fundamental Physics Research, Book of Abstracts* (CWS-2002), p. 12.
4. J.F. Pensinger, A.P. Croonquist, F.C. Liu, M.E. Larson, and T.C. Chui, *The Low Temperature Microgravity Physics Facility, Book of Abstracts* (CWS-2002), p. 15.
5. D.M. Strayer, H.J. Paik, and M.V. Moody, *Short-range Inverse-Square Law Experiment in Space, Book of Abstracts* (CWS-2002), p. 16.
6. Y. Okuda, R. Nomura, Y. Suzuki, S. Kimura, and S. Burmistrov, *Manipulation of Solid-Liquid Interface of ^4He by Acoustic Radiation Pressure, Book of Abstracts* (CWS-2002), p. 23.
7. N.A. Anfimov, V.I. Lukjashchenko, V.V. Suvorov, M.M. Tsybalyuk, and B.V. Bodin, *Major Directions of Research on Low Temperature Physics and Engineering on Board the Russian Segment of the International Space Station, Book of Abstracts* (CWS-2002), p. 11.
8. S.V. Buskin, V.I. Lukjashchenko, V.V. Suvorov, I.Yu. Repin, V.A. Shuvalov, and Yu.E. Levitskii, *Technological Integration of Low-Temperature Studies at the ISS RS and Optimization of Experimental Equipment, Book of Abstracts* (CWS-2002), p. 14.
9. S.I. Bondarenko, R.V. Gavrylov, V.V. Eremenko, K.V. Rusanov, N.S. Shcherbakova, I.M. Dergunov, A.P. Kryukov, P.V. Korolyov, Yu.Yu. Selyaninova,

- V.M. Zhukov, V.S. Kharitonov, K.V. Kutsenko, V.I. Deev, and V.A. Shuvalov, *Physical Research of Microgravity Influence on Physical Phenomenon in Cryogenic Liquids and General-Purpose Onboard Cryogenic Facility for Realization of this Research Aboard International Space Station*, *Book of Abstracts* (CWS-2002), p. 13
10. I.M. Dergunov, P.V. Korolyov, A.P. Kryukov, and Yu.Yu. Selyaninova, *Superfluid Helium Boiling in the Model of Porous Structure at Microgravity*, *Book of Abstracts* (CWS-2002), p. 63.
11. V.I. Polezhaev and E.B. Soboleva, *Thermal Gravity-Driven Convection of Near-Critical Fluids in Enclosures with Different Heating*, *Book of Abstracts* (CWS-2002), p. 19; A.A. Gorbunov and V.I. Polezhaev, *Isoentropic Equilibrium Stability of the Near-Critical Fluid under Zero Gravitation*, *Book of Abstracts* (CWS-2002), p. 63.
12. A.A. Levchenko, M.Yu. Brazhnikov, G.V. Kolmakov, and L.P. Mezhev-Deglin, *Capillary Turbulence at the Charged Surface of Liquid Hydrogen*, *Book of Abstracts* (CWS-2002), p. 29.
13. M.A. Strzhemechny, *Properties of Quenched Hydrogen-Based Alloys with Lighter Elements from Diffraction Measurements*, *Book of Abstracts* (CWS-2002), p. 48.
14. A. Drobyshhev, A. Aldijarov, K. Abdykalykov, Sh. Sarsembinov, and A. Shelyagin, *Enthalpy of the Hydrogen Bonds from Measurements Made on Thin Water Films*, *Book of Abstracts* (CWS-2002), p. 50.
15. S.I. Kiselev, V.V. Khmelenko, and D.M. Lee, *ESR Investigation of Hydrogen and Deuterium Atoms in Impurity-Helium Solids*, *Book of Abstracts* (CWS-2002), p. 37.
16. E.A. Popov, J. Eloranta, J. Ahokas, and H. Kunttu, *Emission Spectroscopy of Atomic and Molecular Nitrogen in Helium Gas Jet, Bulk Liquid He-II, and in Impurity-Helium Solids*, *Book of Abstracts* (CWS-2002), p. 38.
17. L.P. Mezhev-Deglin and A.M. Kokotin, *Water-Helium Condensate (Watergel) in Liquid Helium*, *Book of Abstracts* (CWS-2002), p. 39.
18. V.V. Nesvizhevsky, H.G. Boerner, A.K. Petukhov, H. Abele, S. Baessler, F.J. Ruess, Th. Stoeferle, A. Westphal, A.M. Gagarsky, G.A. Petrov, and A.V. Strelkov, *Quantum States of Neutrons in the Earth's Gravitational Field*, *Book of Abstracts* (CWS-2002), p. 55.

Председатель семинара,
Председатель секции «Космическое материаловедение» Совета по космосу РАН
Ю.А. Осипьян

Председатель Программного и Локального комитетов
Л.П. Межов-Деглин