

Станция 1-5 «Диагностика в высокоэнергетическом рентгеновском диапазоне»

В качестве источника высокоэнергетического излучения планируется использовать сверхпроводящий вигглер, который обеспечит высокий поток излучения на уровне 10^{12} - 10^{15} фотон/сек./мм² в диапазоне энергий рентгеновских квантов от 25 до 150 кэВ. На Станции 1-5 планируется разместить три секции, которые будут функционировать в последовательном режиме. Ближайшая к источнику секция будет нацелена на исследования, проводимые с использованием рентгеновской микроскопии и томографии с субмикронным пространственным разрешением. Следующая секция предназначена для исследования *in situ* больших (до 1 см³) объёмов вещества в экстремальных условиях методами энергодисперсионной дифракции и радиографии. В конце канала будет размещена секция, позволяющая получать высококонтрастные изображения в рентгеновском диапазоне для медицинских исследований. Также на этой секции будет реализована возможность получения в реальном времени информацию об изменениях в структуре, которые происходят в промышленных устройствах, находящихся в нагруженном состоянии.

На всех секциях Станции 1-5 будет предусмотрена возможность работы как с полихроматическим излучением, с использованием рентгеновских фильтров, так и использование монохроматического излучения с полосой пуска на уровне $\Delta E/E=10^{-3}$.

Секция 1-5-1 «Фазово-контрастная радиография»

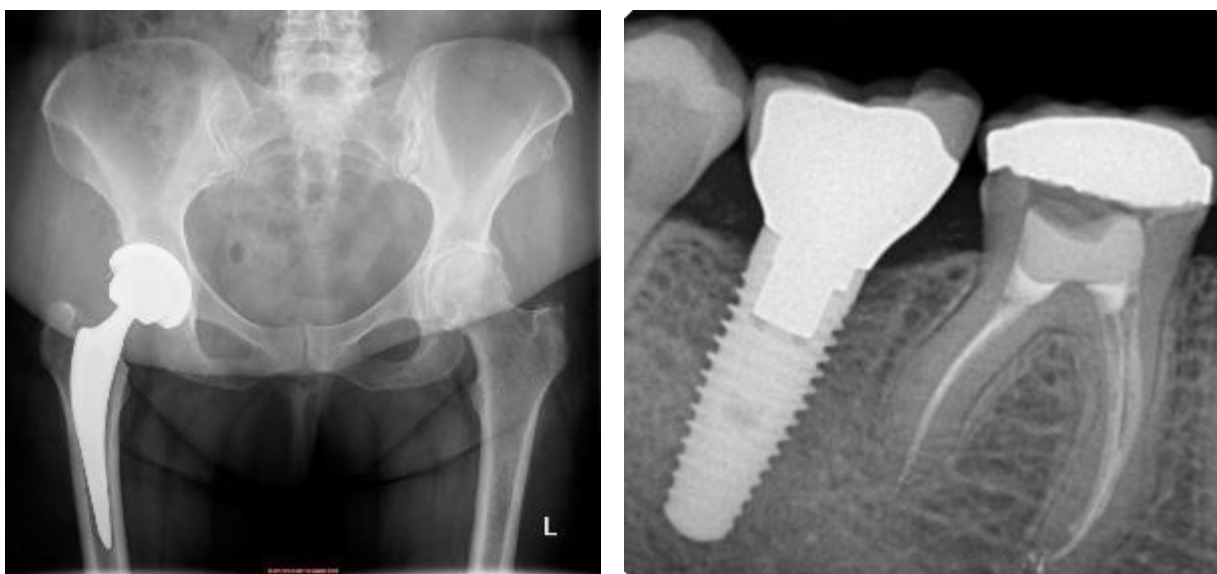
Все методики получения фазовых изображений основаны на измерении угла рефракции рентгеновского излучения, возникающей на границе раздела сред в объекте. Из-за малых углов рефракции в рентгеновском диапазоне необходимо использовать высокотехнологичные рентгенооптические элементы, позволяющие разрешать слабоконтрастные детали в изучаемых объектах.

На секции 1-5-1 планируется изучать физиологический отклик организма на терапевтическое вмешательство и проводить исследования, связанные с диагностикой заболеваний. Фазовые изображения биологических объектов позволяют визуализировать слабоконтрастные детали в организме, информацию о которых невозможно получить, используя традиционную радиографию.



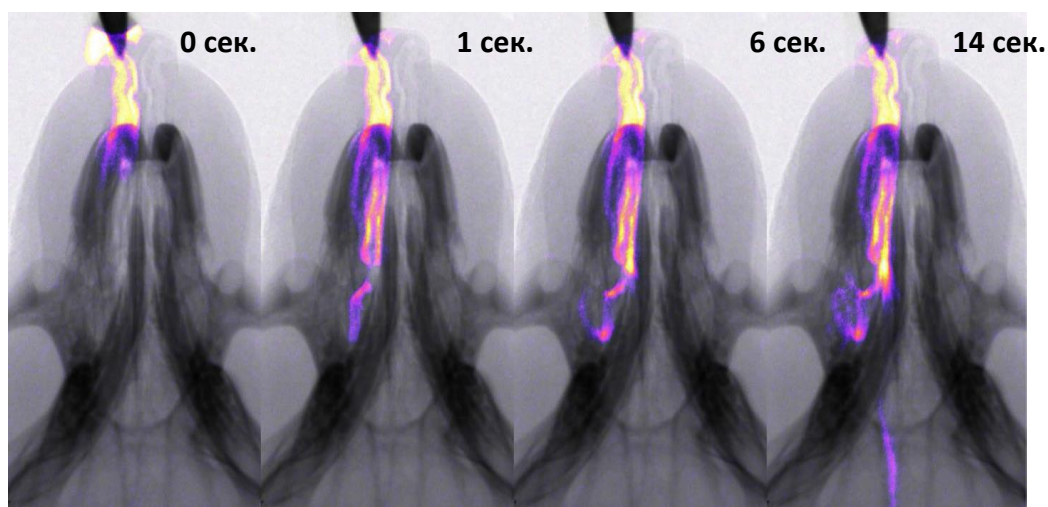
Сравнение (слева) традиционной и (справа) фазово-контрастных радиографий, M.J. Kitchen, R. A. Lewis, N. Yagi et al, The British Journal of Radiology 2005

При этом дозовая нагрузка на пациента значительно меньше, чем при стандартном радиологическом исследовании, а пространственное разрешение изображений на порядок выше. Такие исследования особенно важны при диагностике злокачественных опухолей на ранней стадии развития, и позволяют контролировать ход развития различных патологий в течении процесса лечения.



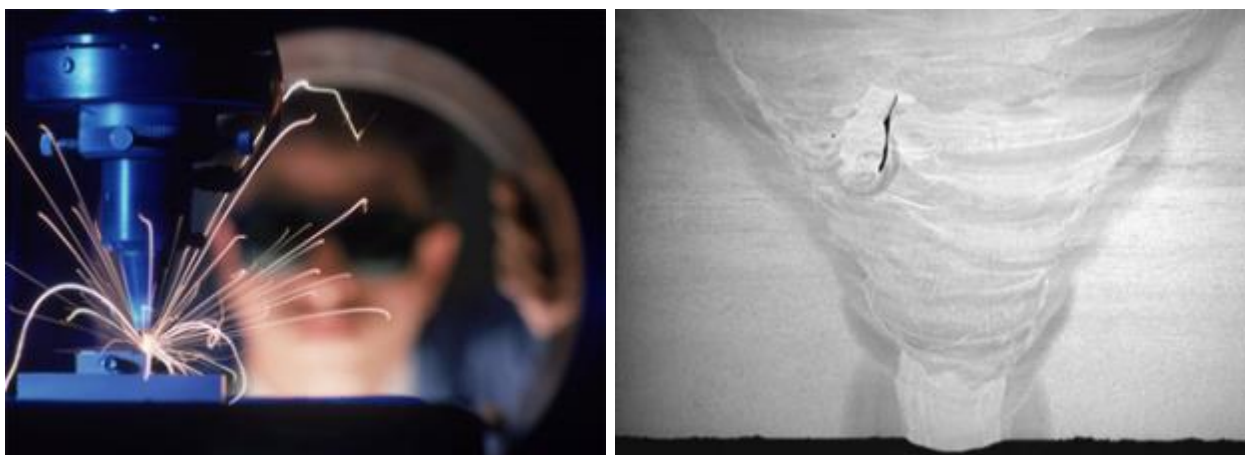
Рентгеновские снимки имплантированных протезов в организме человека

Фазово-контрастная радиография очень актуальна при исследованиях приживаемости имплантатов в организме человека. Получаемые изображения позволяют с хорошей точностью диагностировать воспалительные процессы, вызываемые при протезировании суставов или при установки зубных имплантатов.



Распределение лекарственного препарата с течением времени в организме мыши при назальном введении, Regine Gradl, Martin Dierolf, Benedikt Günther et al. Scientific reports 2018

Высокая интенсивность синхротронного излучения позволяет в реальном времени получать информацию о распространении и усвояемости лекарственных препаратов в организме лабораторных животных, позволяя детально изучить фармакинетику в живом организме.



Электронная сварка (слева) и дефект сварного шва, возникающий при нарушении технологического процесса (справа).

Высокая проникающая способность СИ в энергетическом диапазоне, использующемся на станции, позволяет in-situ исследовать процессы, возникающие при сварки металлических изделий. Исследование процессов, происходящих с расплавом во время сварки и последующей его кристаллизации, могут помочь улучшить качество и прочность сварных изделий.

Секция 1-5-2 «Исследования материалов при высоких давлениях и температуре»

Несмотря на широкое распространение метода создания высокого статического давления с помощью алмазных наковален, он является оптимальным далеко не для всех исследований вещества в экстремальных условиях. Альтернативной методикой в этом случае является использование «пресса большого объёма», в котором размер образца может достигать кубического сантиметра, что на пять порядков превосходит возможности метода алмазных наковален. Преимуществом таких прессов также является стабильная система резистивного нагрева, позволяющая нагревать образец до 2500°C при минимальных температурных градиентах.



Прогноз сейсмических аномалий вокруг погружающихся в мантию литосферных плит.

Комбинация пресса с полихроматическим пучком синхротронного излучения позволяет как изучать фазовое состояние образца *in-situ* при высоких давлении и температуре методом энергодисперсионной дифракции, так и визуализировать образец в реальном времени методом радиографии, например, для измерения вязкости расплавов методом падающей сферы.

Традиционно значительная часть исследований в прессах большого объёма с использованием СИ относится к наукам о Земле, где за последние годы этим методом был получен ряд результатов, опубликованных в изданиях самого высокого уровня: исследована вязкость и особенности накопления магмы на глубинах до 150 км показана возможность транспорта воды из приповерхностных слоёв в нижнюю мантию на глубины более 1200 км, объяснены сейсмические аномалии вокруг погружающихся в мантию литосферных плит.



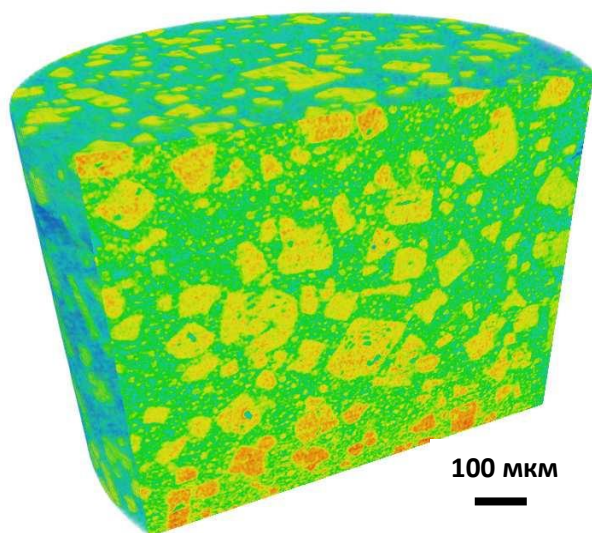
Бронежилеты и защитные шлемы из керамики на основе карбида бора (слева) и микроструктура спекаемых изделий (справа).

Важные результаты с помощью комбинации «пресс большого объема плюс СИ» получают и в области наук о материалах. На сегодняшний день не удастся оценить процессы плавления, диффузионного переноса, смачивания, фазовых переходов, зарождения дефектов и др. при компактировании порошковых смесей. Применение синхротронного излучения может позволить оценивать перечисленные процессы. Использование методов рентгеновской томографии, рентгено-структурного и энергодисперсионного анализа позволит контролировать рост зерен в порошковом материале, определять факторы влияющие на зарождение дефектов, оценивать изменение фазового состава в процессе консолидации. Использование подобных исследований может существенно продвинуть технологию спекания керамических материалов на основе карбида бора, активно применяемых в конструкциях ядерных энергоустановок, бронезащитных элементов и бронепластин в военной и гражданской технике и защиты личного состава.

Секция 1-5-3 «Рентгеновская микроскопия и томография»

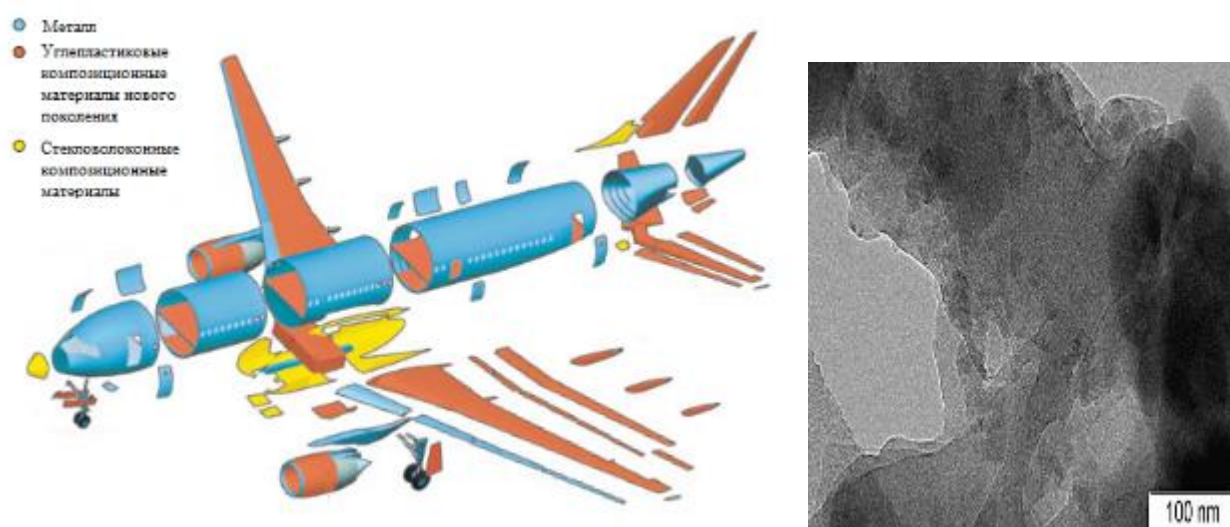
Секция 1-5-3 «Рентгеновская микроскопия и томография» предназначена для проведения исследований трехмерной структуры не прозрачных образцов с субмикронным пространственным разрешением. Актуальность таких задач наблюдается при исследованиях сложных композитных материалов, горных пород и в производстве высокоиндустриальных изделий (микроэлектроника, высокоточная механика и т.д.).

Исследование трехмерной структуры энергетических материалов (ЭМ) с помощью рентгеновской томографии позволяет охарактеризовать их свойства на основе данных о распределении плотности неоднородностей в изучаемом объекте. Чувствительность к детонации во многом определяется микроструктурой ЭМ. Так, например, детонационная устойчивость прессованных и литых взрывчатых веществ может различаться на порядок.



Структура композиционного энергетического материала, используемого в аэрокосмической области.

Композитные материалы (в первую очередь на основе армированных волокон, включая нанотрубки, полимеров) в настоящее время рассматриваются как наиболее перспективные заменители алюминиевых и титановых сплавов в аэрокосмических приложениях, в первую очередь за счет их высокой прочности и одновременно рекордной легкости.



Доля углепластиковых композиционных материалов, используемых в авиационной (слева), структура полимера, наполненного упрочняющими наночастицами (справа).

В то же время, их применения существенно ограничены из-за отсутствия информации о деформационной картине внутри композитного материала, накопления повреждений и поведения компонентов композитного материала при различных видах нагрузки. Для диагностики напряжений и механизмов разрушения композитных материалов могут быть использованы методики на основе рентгеновской микротомографии при моделировании наиболее распространенных видов деформаций (изгиб, кручение, сжатие, растяжение) на механических стендах. Исследования внутренней структуры напряжений и развития трещин в материале, подвергнутого многоциклового усталостной

нагрузке позволит прогнозировать сроки использования полимерных композитов. В данных исследованиях заинтересованы как производители композитных материалов, так и потребители – предприятия авиакосмической отрасли.