

**Программа II школы для молодых ученых
«Источники синхротронного излучения и нейтронов
на принципах лазерного ускорения заряженных частиц»
30 – 31 октября 2023 г.
Конференц-Зал ИПФ РАН**

30 октября		минуты
9:00-9:45	Регистрация	
9:45-9:55	<u>Открытие:</u>	
9:55-10:10	<p>"Динамика КЭД каскада в двух встречных сильно сфокусированных сверхмощных лазерных пучках" Муравьев Александр Андреевич, ИПФ РАН</p> <p>В данной работе методами трёхмерного численного моделирования исследуется квантовый электродинамический (КЭД) каскад во встречных сильно сфокусированных линейно поляризованных лазерных пучках мощностью от 10 ПВт. В таких сверхмощных лазерных пучках путём КЭД каскада зарождается и развивается плазменный объект, состоящий из электрон-позитронной плазмы и жёстких гамма-квантов. Динамика таких объектов исследуется в данной работе, в первую очередь, на основе полученных пространственных распределений электронов, позитронов, гамма-квантов и электромагнитного поля.</p> <p>Исследуются зависимость темпа и характера каскада от мощности и угла фокусировки лазерных пучков. Рассматриваются как линейный режим КЭД каскада (в невозмущённых лазерных полях), так и нелинейный, характеризующийся сильным собственным электромагнитным полем плазмы, сравнимым с лазерными полями."</p>	15
10:10-10:25	<p>"Экспериментальные исследования эмиссионных свойств лазерной плазмы при ультра-релятивистских интенсивностях" Алхимова Мария Андреевна, ОИВТ РАН, с.н.с., к.ф.-м.н.</p> <p>На сегодняшний день, исследование природы и свойств вещества (плазмы), формируемого под воздействием ультра-интенсивных лазерных импульсов, представляет огромный интерес, как с точки зрения фундаментального знания о природе нашей вселенной, так и с точки зрения практического применения в качестве мощного эмиссионного источника в медицинских и прикладных задачах. Возможность создавать и всесторонне изучать такую плазму появилась сравнительно недавно, в последнее 15 лет. Причина этого в активном развитии и распространении лазерных комплексов ПВт мощности и сверх ПВт-мощности, которые за счет своей компактности и сравнительно невысокой стоимости, заняли уверенную нишу среди востребованных экспериментальных установок в научных лабораториях по всему миру. Плазма, формируемая под воздействием лазерного излучения с интенсивностью выше 10^{21} Вт/см² уникальна, для нее характерны малые времена жизни ~1-3 нс в экстремальном состоянии, высокие ГВт-плотности энергии, и температуры порядка 2-5 кэВ. В таких условиях рентгеновская спектроскопия с высоким спектральным разрешением является ключевым методом для измерения основных параметров плазмы и исследования ее эмиссионных свойств.</p> <p>В данной работе представлены результаты измерения рентгеновских эмиссионных спектров плазмы, зарегистрированные в серии экспериментов на фемтосекундном лазерном комплексе ПВт-мощности. При помощи фокусирующих рентгеновских спектрометров ФСРП были зарегистрированы спектры плазмы, образующейся при облучении стальных мишеней-фольг с $Z \sim 25$ лазерными импульсами с плотность потока $\geq 10^{21}$ Вт/см². В работе представлены и проанализированы рентгеновские эмиссионные спектры плазмы, образующейся в двух принципиально различных экспериментальных условиях. На основе сравнения экспериментальных спектров с результатами атомно-кинетических расчетов спектров многозарядных ионов исследовано влияние, энергии лазерного импульса, величины лазерного контраста, (другими словами – влияние пре-плазмы), и толщин стальных мишеней на температуру, плотность, ионизационный состав стальной плазмы. При комплексном анализе рентгеновских эмиссионных спектров, измеренных в эксперименте с высоким лазерным контрастом, обнаружен эффект релятивистского просветления лазерной плазмы. Показана возможность формирования в области взаимодействия плазмы с плотностью энергии ~ 1 ГВт/см³.</p>	15

10:25-10:40	"Гидродинамические расчеты по оптимизации мишени для лазерного ускорения заряженных частиц"	15
	<p>Ракитина Мария Александровна, ФИАН</p> <p>На текущий момент значительный интерес представляют собой эксперименты по генерации пучков высокоэнергетических ионов и электронов в связи с возможностью применения их в различных сферах (например, для создания медицинских изотопов или диагностики объектов). Одной из важных частей экспериментов по взаимодействию коротких мощных лазерных импульсов с твердотельными мишенями является проблема модификации мишени под действием преимпульса наносекундной длительности. Подобный импульс может возникать вследствие контраста при взаимодействии короткого фемтосекундного лазерного импульса с мишенью или создаваться специально, как дополнительный импульс, синхронизированный с основным. Контроль разлета мишени и подбор оптимальных параметров преплазмы может значительно увеличить эффективность ускорения заряженных частиц. В данном докладе приведены результаты серии гидродинамических расчетов облучения мишени наносекундным лазерным импульсом, описывающие профили плотности разлетевшейся плазмы в зависимости от параметров данного импульса. На основе этих результатов проведена серия расчетов по ускорению заряженных частиц мощным фемтосекундным лазерным импульсом для поиска оптимальных параметров преплазмы.</p>	
10:40-11:00	Кофе-брейк	
11:00-11:50	"Частицы и фотоны высоких энергий в релятивистском лазерном взаимодействии с веществом"	45+5
	<p>Андреев Николай Евгеньевич, ОИВТ РАН, МФТИ (онлайн)</p> <p>Рассмотрены различные процессы лазерно-плазменного ускорения электронов, начиная с механизма кильватерного ускорения в режиме самомодуляции лазерного импульса. Этот режим генерации ультрарелятивистских электронов лежит в основе создания платформы для диагностики сжатого вещества мишени в ряде крупных лабораторий, проводящих исследования в области термоядерного синтеза с инерционным удержанием.</p> <p>В настоящее время обсуждается более эффективная концепция создания источников рентгеновского излучения и нейтронов, основанная на генерации релятивистских электронов в режиме прямого лазерного ускорения. Лазерные системы PW-класса, способные генерировать субпикосекундные и фемтосекундные импульсы, сфокусированные до ультрарелятивистской интенсивности, являются хорошими кандидатами для создания сильноточных пучков ультрарелятивистских электронов в протяженной плазме с плотностью, близкой к критической, что было подтверждено в экспериментах.</p> <p>Получены и проанализированы зависимости параметров лазерно-генерируемых электронных сгустков и жесткого излучения от интенсивности лазерного излучения и плотности плазмы для субпикосекундных и фемтосекундных лазерных импульсов с учетом текущих и будущих экспериментов. Полученные результаты указывают на пути повышения эффективности широкого класса вторичных лазерных источников, таких как источники электронов, позитронов, бетатронного и тормозного излучения, а также источники протонов и нейтронов различного назначения.</p>	
11:50-12:40	"Параметрические неустойчивости в лазерной плазме"	45+5
	<p>Цымбалов Иван Николаевич, МГУ им. М.В. Ломоносова</p> <p>В лекции будут рассмотрены параметрические неустойчивости, возникающих при воздействии на плазму интенсивных фемто- и пикосекундных лазерных импульсов, такие как вынужденное комбинационное рассеяние (ВКР) и двухплазмонный распад. Эти процессы заключаются в распаде электромагнитной волны лазерного импульса на две другие, для ВКР - на электромагнитную с меньшей частотой и плазменную. Речь пойдет как о базовой физике этих процессов, так и об их применении для диагностики плазмы, самомодуляции лазерных импульсов и генерации плазменных волн для ускорения электронов (SM-LWFA), усиления лазерных импульсов в плазме, их роли в разбиении электронных пучков на банчи в лазерах на свободных электронах.</p>	
12:40-14:00	Обед	

14:00-14:50	<p>"Лазерные методы генерации сильных магнитных полей"</p> <p>Корнеев Филипп Александрович, НИЯУ МИФИ</p> <p>Мощное лазерное излучение может быть использовано для генерации вторичных магнитных полей в плазме или в вакууме вблизи проводящих мишеней. В зависимости от длительности, интенсивности лазерных импульсов и геометрических условий взаимодействия, возможна генерация магнитных полей величиной порядка сотен и тысяч Тесла, существующих в течение времени порядка нескольких десятков пикосекунд. Магнитные поля такой интенсивности чрезвычайно интересны для фундаментальных и прикладных исследований в области физики плазмы, взаимодействия излучения с веществом, ускорения частиц, лабораторной астрофизики.</p> <p>Можно выделить несколько основных методов создания магнитных полей высокой напряжённости с помощью лазерного излучения, среди которых использование гидродинамических эффектов, обратного эффекта Фарадея, разрядных явлений в различной геометрии. Наиболее разносторонне исследованы схемы, основанные на оптическом возбуждении управляемых разрядных токов, показавшие работоспособность как при длинных нс импульсах высокой энергетики, так и при коротких высокоинтенсивных импульсах пс и фс диапазона. Интересной особенностью генерации магнитных полей в случае коротких импульсов является переход в режим излучения. Возможность управления параметрами разрядного тока и геометрией мишени позволяют при этом контролировать такое излучение в широких пределах.</p> <p>Разработка перспективных лазерных установок сверхвысокой интенсивности и большой энергетики позволит, согласно имеющимся оценкам и расчётам, получать и исследовать поведение плазмы в магнитных полях напряжённости в десятки тысяч Тесла и более, открывая новые возможности в задачах физики высоких плотностей энергии.</p>	45+5
14:50-15:40	<p>"Некоторые схемы генерации вторичного ЭМИ, нейтронов и изотопов при лазер-плазменном взаимодействии"</p> <p>Брантов Андрей Владимирович, ФИАН</p> <p>В лекции приводятся основные схемы и механизмы ускорения электронов (кильватерное, прямое и стохастическое ускорение) и ионов (кулоновский взрыв, ускорение полем разделения заряда, ускорение медленным светом) короткими мощными лазерными импульсами, обсуждаются их преимущества и недостатки. Рассматриваются перспективные пути повышения эффективности конверсии энергии лазерного импульса в энергию ускоренных заряженных частиц. Обсуждается их использование для генерации рентгеновского и гамма излучения, а также создания короткого нейтронного источника. Приводится сопоставление схем возбуждения ядерных реакций с использованием ускоренных ионов и фотоядерных реакций, возбуждаемых тормозным гамма-излучением лазерно-ускоренных электронов. Даются перспективы использования лазерных источников заряженных частиц для ядерной фармакологии и трансмутации ядерных отходов.</p>	45+5
15:40-16:30	<p>"Применение XFEL в исследованиях быстропротекающих процессов в лазерной плазме"</p> <p>Макаров Сергей Станиславович, ОИВТ РАН</p> <p>В широком классе явлений, имеющих место в астрофизике и современной ядерной энергетике, вещество находится в условиях сверхинтенсивного энергетического воздействия. В свою очередь, это воздействие порождает целый комплекс сложных гидродинамических явлений (различные типы неустойчивостей, плазменные струи, ударные волны), понимание которых представляет интерес как для прикладных, так и фундаментальных задач. Благодаря свойству подобия гидродинамических систем, такие явления могут быть исследованы в лабораторных условиях при воздействии мощных лазерных импульсов на модельные объекты.</p> <p>В данной лекции подробно рассматриваются возможности метода когерентной фазово-контрастной радиографии с использованием синхротронных источников нового поколения (XFELs — X-ray free electron lasers) для исследования малоконтрастных быстропротекающих гидродинамических явлений в лабораторных лазерно-плазменных экспериментах.</p>	45+5
16:20-17:20	<p>"Многослойные рентгеновские зеркала: применение, технология, аттестация"</p> <p>Полковников Владимир Николаевич, ИФМ РАН</p> <p>В лекции дается самое общее представление о многослойных рентгеновских зеркалах, об их особенностях, отличии от других рентгенооптических элементов. Кратко рассматриваются основные методы синтеза зеркал. Подробнее останавливаемся на методах, применяемых в Институте физики микроструктур. Также уделяется место методам определения рентгенооптических характеристик и анализа состава структур.</p>	45+5
17:20-18:20	<p>Постерная секция</p>	60
18:30-20:00	<p>Дружеский ужин</p>	

31 октября		МИНУТЫ
9:30-9:45	<p>"Создание источника нейтронов на лазерных системах тераваттной мощности" Горлова Диана Алексеевна, МГУ им. М.В. Ломоносова</p> <p>В лекции будут рассмотрены основные реакции, используемые для создания источников нейтронов на лазерно-плазменных ускорителях и показано, что для систем тераваттной мощности наиболее эффективным является использование реакций фоторасщепления. Будут рассмотрены характерные сечения таких реакций и параметры источников нейтронов, полученные экспериментально на различных установках ТВТ уровня мощности. Также будут затронуты вопросы дальнейшего использования полученных источников нейтронов.</p>	15
9:45-10:00	<p>"Ускорение электронов фемтосекундными лазерными импульсами умеренной мощности из малоплотных мишеней" Вайс Ольга Евгеньевна, ВНИИА им. Н.Л.Духова</p> <p>В работе проведено исследование ускорения электронов в режиме релятивистского самозахвата лазерного импульса умеренной мощности. Проведен анализ влияния длительности лазерного импульса с заданной энергией на конверсию в энергию высокоэнергетичных электронов. Показано, что в таком режиме укорочение импульса фемтосекундного лазера, например, с использованием инновационного метода посткомпрессии СаfСА до предельно коротких длительностей с сохранением энергии лазерного пучка приводит к значительному повышению эффективности ускорения частиц.</p>	15
10:00-10:15	<p>"Оптимизация лазерных источников гамма-излучения на основе сгустков электронов, ускоренных методом прямого лазерного ускорения" Умаров Искандер Рашидович, ОИВТ РАН</p> <p>Лазерные источники релятивистских электронов являются эффективным средством генерации МэВ-ного гамма-излучения, электрон-позитронных пар, бетатронного и терагерцового излучения и нейтронов. Прямое лазерное ускорение (DLA) — один из наиболее эффективных способов преобразования энергии лазера в энергию ускоренных электронов. Коэффициент конверсии может превышать 50%, а заряд образованного электронного сгустка достигать значений в несколько мкКл. После этого энергия данного DLA-сгустка с помощью металлического конвертера может быть преобразована в гамма, позитронное и нейтронное излучение. Полученные таким образом интенсивные пучки фотонов и нейтронов в МэВ-диапазоне энергий могут быть использованы во многих областях исследований, таких как диагностика вещества в экстремальных состояниях, ядерная физика и материаловедение, а также в медицинских и биофизических приложениях. Представлена концепция создания эффективных источников гамма-излучения, основанная на генерации релятивистских электронов в режиме прямого лазерного ускорения при взаимодействии лазерного импульса с протяженной плазмой критической плотности. Изучена зависимость потока фотонов от энергии ускоренных электронов и толщины мишени. Для максимизации выхода вторичных частиц были рассмотрены различные материалы конвертера. Оптимизация проводилась на основе результатов сквозного численного PIC →</p>	15
10:15-10:30	<p>"Моделирование синхротронного и тормозного излучения субпикосекундного лазер-плазменного рентгеновского источника" Седов Максим Владимирович, ОИВТ РАН</p> <p>Взаимодействие лазерного импульса высокой интенсивности ($I_L > 10^{18}$ Вт / см²) с мишенью твердотельной плотности приводит к конверсии значительной части лазерной энергии (от нескольких процентов до ~50%) в релятивистские электроны. Затем электроны распространяются вглубь мишени, где теряют энергию и генерируют тормозное излучение. С другой стороны, часть горячих электронов остается (или вновь попадает) в область лазерного фокуса, где они генерируют синхротронное излучение в поле лазерной волны. Относительно недавно появились коды, которые позволяют самосогласованно рассчитывать рентгеновское излучение (как тормозное, так и синхротронное) плазмы в PIC (particle in cell - частица в ячейке) расчете. В настоящей работе рассматривается рентгеновское излучение в непрерывном спектре при взаимодействии Р-поляризованного лазерного излучения (с интенсивностью $> 10^{20}$ Вт/см²) субпикосекундной (0.7-1 пс) длительности с плоскими мишенями различной толщины и для различных углов падения лазерного излучения. Результаты моделирования также сравниваются с экспериментальными измерениями, полученными на лазерной установке Вулкан.</p>	15
10:30-10:50	Кофе-брейк	

10:50-11:40	<p>"Radiation-dominated plasma dynamics in multi-petawatt laser beams"</p> <p>Попруженко Сергей Васильевич, НИЯУ МИФИ</p> <p>In this talk, we discuss the state of the art of the theory of plasma dynamics and radiation in laser fields of extreme intensity exceeding 10^{23}W/cm^2. Such intensities are currently becoming available in laser laboratories equipped by multi-petawatt femtosecond sources [1]. Even higher intensities will be achieved on sub-exawatt laser facilities [2,3] in a foreseeable future.</p> <p>We summarize recent results obtained by several theoretical groups. The focus is made on phenomena emerging due to a strong back reaction of radiation emitted by the plasma electrons on the dynamics of these electrons and of the whole plasma. In this extreme-field domain, radiation reaction (RR) both modifies effects, which exist also at lower intensities when RR is negligible and induces new effects, which can be considered as markers of the classical or quantum RR force.</p> <p>We address the following problems (see also recent reviews [4,5] for details and references):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Possible radiation reaction effects on laser acceleration of electrons and ions. Generally, RR decreases the acceleration efficiency, however opposite counterintuitive situations are also possible. • Can the radiation reaction force in extreme fields act coherently on a group of electrons? Is there a double-count of RR in PIC-codes? • Generation of extremely strong magnetic fields in radiation-dominated laser plasma. Inverse Faraday effect induced by the RR force and its possible realization in multibeam schemes. • Borders between the classical and the quantum regimes of interaction. <p>Our analysis suggests that in the intensity domain $10^{23} - 10^{24} \text{W/cm}^2$, which can soon become accessible for regular experiments, several qualitative effects of the classical RR force can be studied. At the same time, for many potentially realizable experimental setups, longitudinal acceleration of the plasma shifts the border of the quantum regime above this intensity interval.</p> <p>References</p> <p>[1] J.W. Yoon, et al., <i>Optica</i> 8, 630 (2021).</p> <p>[2] A. Gonoskov, T.G. Blackburn, M. Marklund, and S.S. Bulanov, <i>Rev. Mod. Phys.</i>, 94, 045001 (2022).</p> <p>[3] E. Khazanov, et al., <i>High Pow. Las. Sci. and Eng.</i> 11, (2023).</p> <p>[4] A. Fedotov, A. Ilderton, F. Karbstein, B. King, D. Seipt, H. Taya, G. Torgrimsson, <i>Phys. Rep.</i>, 1010, 1 (2023).</p> <p>[5] S.V. Popruzhenko, A.M. Fedotov, <i>Phys. Usp.</i>, 66 (5), 460 (2023)</p>	45+5
11:40-12:30	<p>"Источники высокоэнергичных частиц и гамма-квантов на основе взаимодействия острогофокусированного мультипетваттного лазерного излучения многопучковой конфигурации с плазмой"</p> <p>Башинов Алексей Викторович, ИПФ РАН</p> <p>В настоящее время активно развиваются проекты, посвященные созданию мультипетаваттных многопучковых лазерных систем. Конфигурация электромагнитного поля в таких системах является одной из ключевых характеристик, определяющей не только достижимые интенсивности света, но и режимы взаимодействия лазерного излучения с веществом, и, соответственно, возможные физические реакции. В данной работе основной акцент будет сделан на высокосимметричном взаимодействии плазменной мишени с оптическими полями, создаваемыми на многопучковых мультипетаваттных лазерных системах. Благодаря стоячей структуре поля в этом случае уже при мощностях порядка 10 ПВт могут возникать особые режимы движения частиц и динамики плазмы, в которых существенно повышается вероятность КЭД (квантово-электродинамических) процессов, таких как излучение гамма-фотонов электронами (позитронами) и распад фотонов на электрон-позитронные пары. Мы покажем, что эти процессы могут не только определять характер взаимодействия сверхсильного излучения с веществом, но и открывать возможности для создания эффективного сверхъяркого направленного источника гамма-излучения, источника фотоядерных нейтронов, а также потоков квазинейтральной сверхплотной электрон-позитронной плазмы.</p>	45+5
12:30-14:00	Обед	

14:00-14:50	<p>"Плазменное ускорение заряженных частиц. Современное состояние и перспективы экспериментальных исследований и теоретического описания"</p> <p>Костюков Игорь Юрьевич, ИПФ РАН</p> <p>В лекции представлены результаты экспериментальных исследований плазменного ускорения заряженных частиц. Обсуждаются различные приложения плазменных ускорителей, их недостатки и перспективы. Большое внимание уделено теоретическому описанию процессов в плазменных ускорителях и последним достижениям в этой области.</p>	45+5
14:50-15:40	<p>"Экспериментальные аспекты фокусировки сверхмощных лазерных импульсов"</p> <p>Соловьев Александр Андреевич, ИПФ РАН</p> <p>Ключевым параметром при взаимодействии лазерного излучения с веществом является амплитуда лазерного поля, которая во многом определяет эффективность передачи лазерной энергии плазме и, как следствие, КПД источников вторичного излучения. Предметом лекции является рассмотрение экспериментальных аспектов повышения амплитуды лазерного поля при фокусировке излучения сверхмощных лазерных систем. Рассмотрен теоретический предел, достижимый при дипольной фокусировке и методы приближения пиковой интенсивности к этому пределу, включая методы коррекции волнового фронта и когерентного сложения нескольких импульсов.</p>	45+5
15:40-16:30	<p>"Использование готовых программных пакетов для моделирования плазмы"</p> <p>Коржиманов Артем Владимирович, ИПФ РАН</p> <p>В рамках лекции обсуждается, как выбрать подходящую численную модель для исследуемой физической задачи, и какие параметры плазмы при этом являются ключевыми. Рассматриваются примеры существующих программных пакетов, применяющихся в современных исследованиях. На примере кинетического моделирования плазмы методом частиц в ячейках (Particle-In-Cell) рассказывается, на что в первую очередь обращать внимание при выборе параметров моделирования, а также обсуждаются подходы к проверке корректности расчётов.</p>	45+5
16:20-17:20	<p>"Рентгеновская интроскопия в медицине"</p> <p>Шарабрин Евгений Георгиевич, ПИМУ МинЗдрав РФ</p> <p>В сообщении автор освещает вопросы применения рентгеновского излучения в медицине, в частности, в диагностических целях. Рутинная рентгеновская техника и современные компьютерные томографы. Акцент в лекции сделан на формирования качественного изображения высокого разрешения с помощью различных технологиями. Описаны способы регистрации изображения. Рассмотрены вопросы взаимодействия рентгеновского излучения с тканями пациента; рассеивания, поглощения, преломления рентгеновских лучей в структурах организма и влияние этих процессов на визуализацию. Обсуждаются возможные пути улучшения изображения.</p>	45+5
17:20-17:50	Закрытие	30
18:00-19:00	Дружеский ужин	
1 ноября		
10:00-12:00	Экскурсия по лабораториям Института прикладной физики РАН	