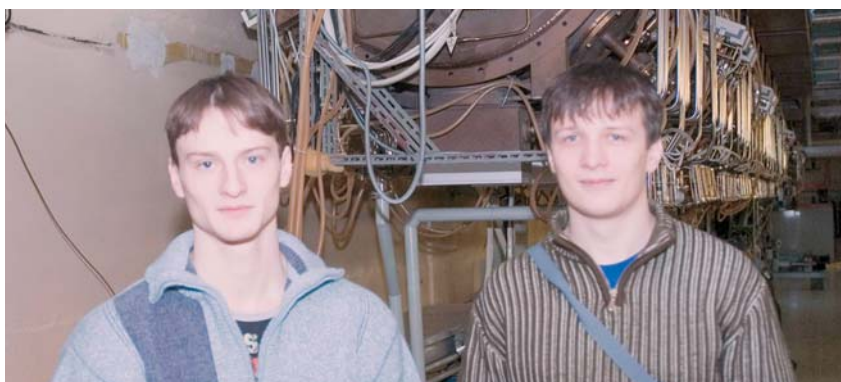




ЭКСКУРСИЯ ПО ГОСУДАРСТВУ ИЯФ:

да будет свет!

Мы наготове – встречаем журналистов. Волнуемся: не каждый день и не каждому выпадает случай рассказать о своей работе, о нашем Лазере на свободных электронах (ЛСЭ) – большой, тяжелой установке, проектированием которой два десятка лет назад занялись лучшие умы ИЯФа. Однако активное строительство ЛСЭ началось в послеперестроечные времена, и только в 2003 г. он наконец-то «дал свет»



КУЗЬМИН Александр Викторович, ЛАХТЫЧКИН Александр Сергеевич — студенты НГУ, старшие лаборанты Института ядерной физики им. А. М. Будкера СО РАН (Новосибирск)

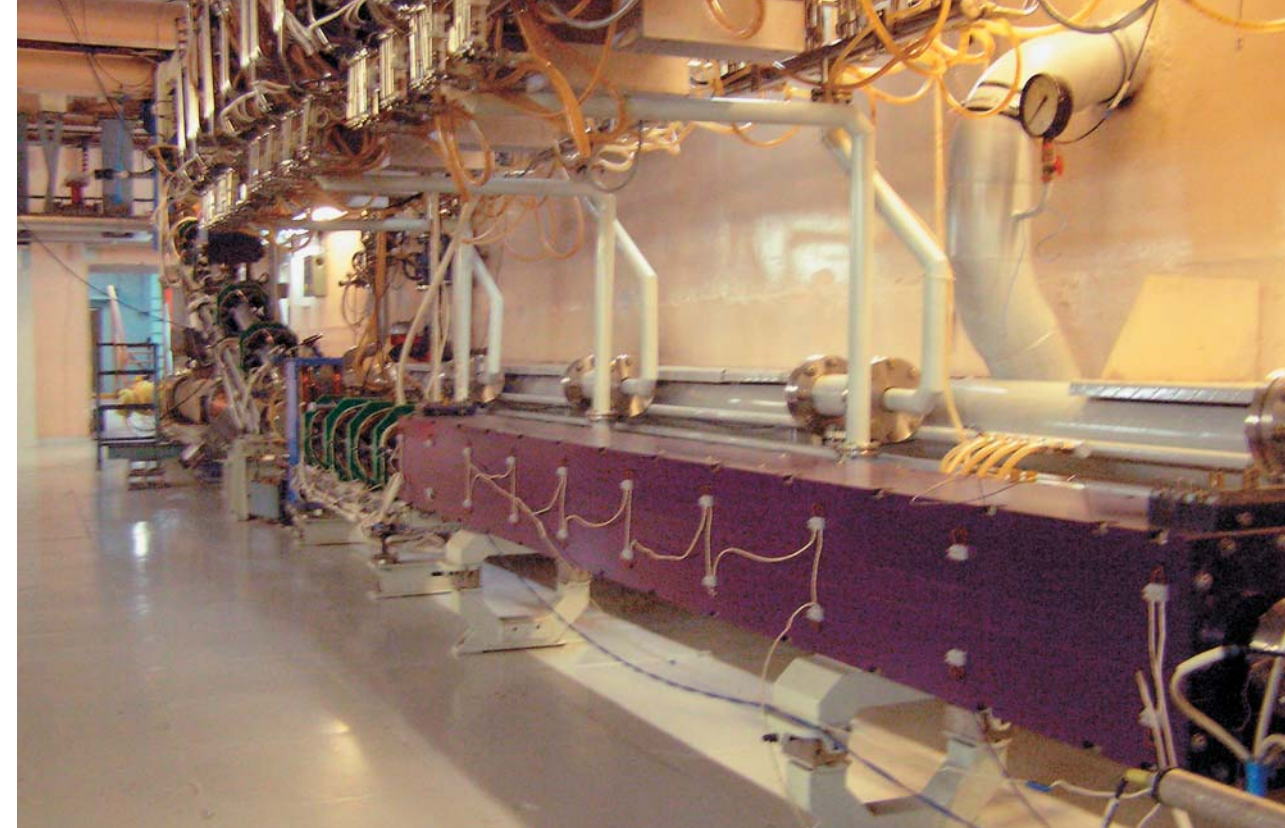
ПРОДОЛЖЕНИЕ

Главное достоинство нашего лазера в том, что он позволяет менять длину волны излучения в достаточно широком диапазоне — от 0,1 до 0,2 мм. Кроме того, в этой области у него самая большая в мире мощность излучения.

ЛСЭ состоит из двух частей: *ускорителя-рекуператора* и *ондулятора*. Если кратко изложить суть процессов, протекающих в ЛСЭ, то электронный пучок сначала разгоняется в ускорителе-рекуператоре. Потом, взаимодействуя с электромагнитной волной в ондуляторе, замедляется, отдавая свою энергию обратно в ускоряющую структуру ускорителя. Затем пучок попадает в поглотитель, где и «умирает смертью храбрых», исполнив свой

долг — усилив электромагнитную волну в ондуляторе. Последняя, отразившись от зеркал оптического резонатора, взаимодействует уже с новым электронным пучком. Мощность электромагнитной волны возрастает и очень быстро — за какие-то миллисекунды — выходит на режим насыщения. Часть этой мощности, собственно лазерное излучение, и выводится пользователям для работы.

О нашем лазере можно говорить бесконечно, но лучше все посмотреть своими глазами, для чего отправляемся в «святая святых» ЛСЭ — ускорительный зал.



Бетонные стены ускорительного зала имеют трехметровую толщину. Зачем такие толстые? Для обеспечения радиационной безопасности. Ведь во время работы ускорителя уровень радиации в зале становится опасным для людей.

Кстати сказать, на нашей установке с безопасностью полный порядок. Во-первых, перед включением ускорителя нажимаются кнопки оповещения персонала. Загробный голос любезно сообщит, что помещение необходимо покинуть. После этого, собрав ключи от всех дверей ускорительного зала, вы двигаетесь к месту сборки ключей. Вставляете их в щиток и поворачиваете. Только тогда возможен запуск установки. Вся процедура очень сильно напоминает фильмы про запуск ядерных ракет. Но если вы вдруг оказались недостаточно внимательны для того, чтобы услышать предупреждение и покинуть помещение, вам необходимо добраться изнутри до кнопки аварийного выключения установки либо выйти из зала по дополнительному змеевидному проходу.



Лазер — источник электромагнитного излучения (инфракрасного, видимого и ультрафиолетового), основанный на вынужденном излучении атомов и молекул. По сравнению с другими источниками света излучение лазера монохроматично (находится в узком диапазоне длин волн) и высоконаправленно. Лазеры различаются способами накачки энергии и рабочей средой. В ЛСЭ рабочей средой являются электроны, разогнанные до релятивистских скоростей в ускорителе элементарных частиц

Дорогу в ускорительный зал преграждает огромная, метровой толщины свинцовая дверь, рядом с которой стоят электродвигатель со щитком управления. Сначала даже трудно поверить, что что-то сможет сдвинуть с места эту грудку железа. Но вот вставляешь ключ — и готово: медленно двигаясь, дверь приоткрывает завесу «ускорительного таинства»



ЛСЭ состоит из **ускорителя-рекуператора и ондуляторной секции**.

Пучок электронов длительностью около 1 нс испускается *электростатической пушкой* (частоту следования сгустков можно регулировать, увеличивая вплоть до 22 МГц). После того как пучок сформировался, его необходимо сгруппировать – попросту говоря, сжать. После группировки пучок ускоряется двумя резонаторами с амплитудой напряжения 700 кВ. И вот когда пучок разогнан до 2 МэВ, он влетает в ускорительную секцию.



УСКОРИТЕЛЬНАЯ СЕКЦИЯ

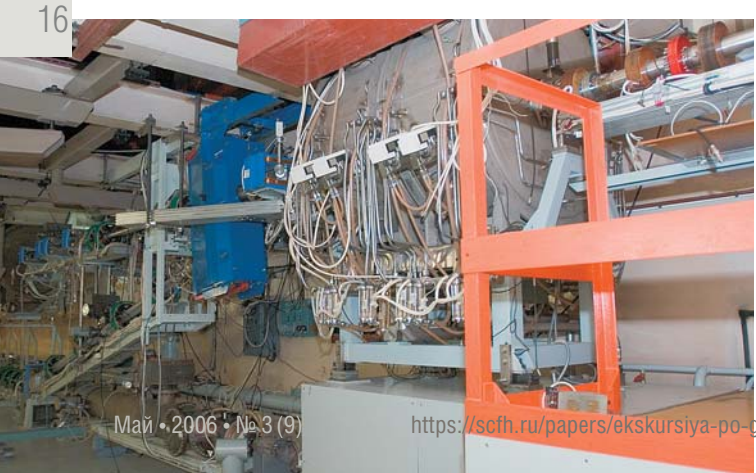
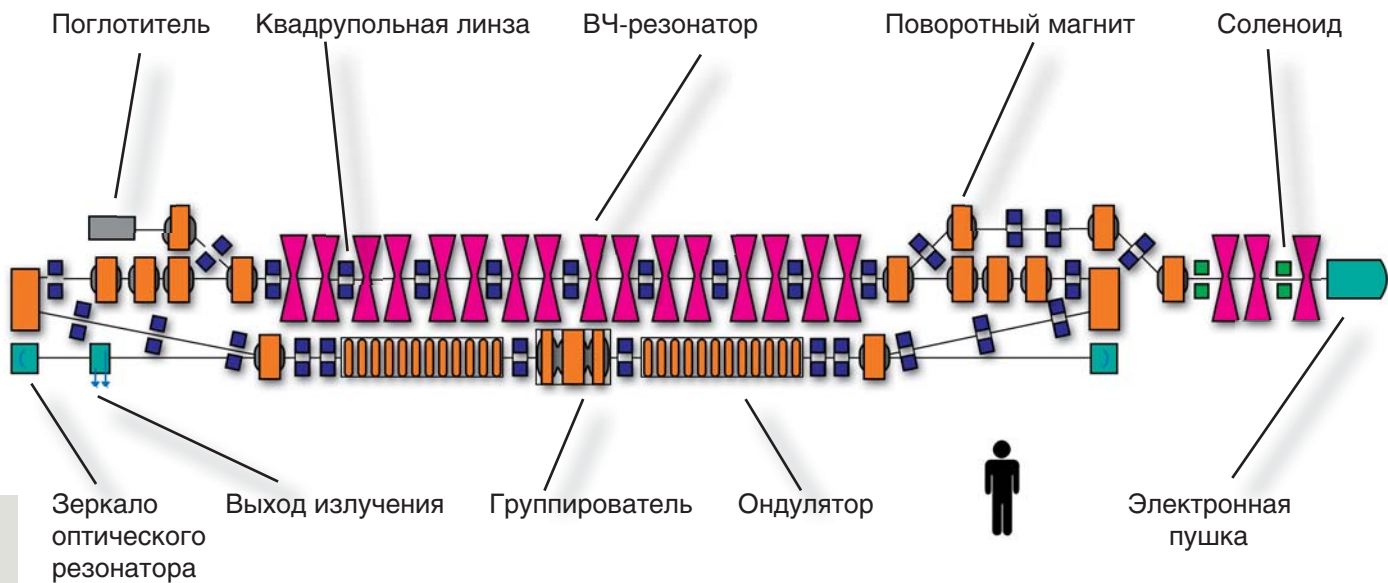
представляет собой линейку *резонаторов*, которые сначала разгоняют пучок до 13 МэВ, а потом, после взаимодействия пучка с электромагнитной волной, тормозят до энергии 2 МэВ. Электромагнитная волна формируется в каждом из резонаторов, и в зависимости от фазы пучок будет взаимодействовать с ней по-разному. А для того чтобы пучок пролетал через резонаторы должным образом, существует система регулирования фаз резонаторов.

Таким образом, в каждом резонаторе ускорительной секции пролетают пучки, обладающие двумя разными энергиями, т.е. ускоряющийся и замедляющийся. Как же удается вывести эти пучки в резонаторах на нужную траекторию? За линейкой резонаторов находится магнит, который меняет траекторию пролетающего пучка. Поскольку радиус поворота пучков с разной энергией также различен, то пучки вылетают из магнита по разным траекториям. Один из них можно отправить в поглотитель, а другой пропустить дальше, в ондулятор. Аналогичным образом на влете в линейку резонаторов пучки с разной энергией сводятся на одну прямую. Между каждой парой резонаторов вставляется дублет линз – так называемые *квадрупольные линзы*. Непосвященному будет любопытно узнать, что если поставить подряд две линзы, которые в одном направлении фокусируют, а в другом дефокусируют, то в результате пучок будет фокусироваться сразу по обоим направлениям независимо от порядка расположения линз.

После ускоряющей секции пучок попадает в **ОНДУЛЯТОР**, в котором формируется многосекционное знакопеременное магнитное поле. В наше время и школьники знают, что магнитное поле поворачивает движущийся электрон. Таким образом, в ондуляторе электронный пучок летит приблизительно по синусоидальной траектории, или, как говорят, змейкой. При этом одновременно с электронным пучком в ондулятор влетает

и электромагнитная волна, которая колеблется в 30-метровом оптическом резонаторе, состоящем из двух позолоченных медных сферических зеркал. В результате взаимодействия пучков электроны меняют свою энергию и начинают группироваться – более быстрые электроны догоняют более медленные.

Как можно увидеть, наш ондулятор состоит из двух секций: в первой пучок группируется, далее специальное устройство – *виглер* – сдвигает фазу между электронным пучком и волной, после чего уже сгруппированный электронный пучок начинает излучать свет, фактически усиливая находящуюся внутри оптического резонатора волну. Благодаря излучению параметры электронного пучка ухудшаются, и уже «подпорченный» пучок *поворачивает* и попадает на замедляющую фазу линейки резонаторов, где и отдает обратно большую часть своей энергии. Это важно, потому что таким способом экономится энергия и, кроме того, в следующее устройство – *поглотитель* – попадает пучок с энергией, недостаточной для проведения ядерных реакций. Поэтому в ускорительном зале радиоактивные изотопы не появляются. В поглотителе «использованный» пучок погибает. А в это время усиленный световой пучок отражается от зеркала оптического резонатора, возвращается на стартовую позицию и взаимодействует уже с новым электронным пучком. Так формируется световое излучение, которое и выводится через 8-миллиметровое отверстие в зеркале оптического резонатора. После этого излучение проходит через окошко, сделанное из искусственно выращенного алмаза шириной 7 мм, которое разделяет вакуум установки и сухой чистый азот выводного канала. Азот используется потому, что вода, обычно содержащаяся в воздухе, способна очень сильно поглощать излучение.



Для установки тоже есть свои меры безопасности. Ведь только хоя и лелея ее, можно получить немножечко драгоценного «света». В ЛСЭ на всех частях ускорителя установлены датчики температуры, поэтому если какая-то часть установки сильно перегреется, то компьютер, отвечающий за обработку сигналов с датчиков, даст знать о проблеме крайне неприятным звуком, проникающим прямо в душу. Так что не пройдет и мгновения, как оператор побежит устанавливать причины перегрева деталей машины. Кроме того, на установке стоят датчики тока пучка. Если ток на одном из участков теряется, то установка мгновенно выключится во избежание образования «дыр» в вакуумной камере.

На сегодняшний момент ЛСЭ может работать меняя длину волны излучения от 120 до 235 мкм. Лазеров в этом так называемом субмиллиметровом диапазоне частот очень мало, хотя именно этот диапазон в последнее время притягивает к себе внимание ученых во всем мире.

Внутрирезонаторная мощность составляет порядка 10 кВт, при этом пользователям выводится излучение мощностью до 400 Вт. В ускорительном зале сейчас работает первая одноканальная очередь лазера. В дальнейшем планируется запустить вторую (четырёхканальную) очередь лазера, где энергия электронного пучка будет достигать уже 50 МэВ. Это позволит менять длину волны в диапазоне от 5 до 200 мкм, причем мощность излучения, выводимого пользователям, будет достигать нескольких киловатт.

Кстати о пользователях... Это так раз те люди — физики, биологи, химики, — которые дают нам положительную обратную связь. Ведь в конечном итоге, любое существо не должно оставаться вещью в себе. Поэтому именно пользователи «заказывают музыку», а физики должны исполнять роль если не гениальных, то хотя бы неплохих «музыкантов».

Закончить экскурсию по нашему Лазеру лучше как раз на пользовательских станциях. Именно здесь около каждого отдельного вывода субмиллиметрового диапазона излучения ученые могут собрать свои установки и провести необходимые эксперименты. Диапазон длин волн нашего лазера очень интересен для самых разных специалистов... И пока еще мало изучен — у нас и у нашего ЛСЭ все впереди.

По аналогии с ЦУПом (Центром управления полетом) эту комнату можно назвать ЦУЛом (Центром управления лазером). Здесь можно увидеть, а иногда и «покрутить» все то, что заставляет ЛСЭ работать в заданном режиме.



Созданы несколько программ для управления и диагностики лазера и электронного пучка в нем.

Во-первых, это система наблюдения за температурными датчиками системы водяного охлаждения. Во-вторых — программы управления инжектором и ВЧ-системой, благодаря которым можно поменять частоту генерирования электронных сгустков, фазы резонаторов, увеличить ток. С помощью системы особых датчиков можно определить местоположение пучка в ускорителе. Кроме того, есть программы, управляющие элементами магнитной системы ускорителя, благодаря чему характеристики пучка можно улучшить, а мощность излучения увеличить.

А вообще хорошо настроить машину — задача не из легких. И тех, кто смог преуспеть в этом, ласково именуют «шаманами». Ведь это действительно настоящее искусство, общение с чем-то неведомым, подобное древнему священному действию с песнями и биением в бубен. Нашего шамана зовут Александр Матвеевко. Иногда пытаешься просто повторять за ним его действия, делаешь вроде бы то же самое — но излучения нет! И тогда веришь, что даже у любой железки есть своя «душа»

Излучение лазера по транспортному каналу доставляется к станциям пользователей, где ведутся и планируются эксперименты в различных областях физики, химии, биологии, минералогии, аэродинамики, атмосферной оптики и ряде других наук



МАТВЕЕНКО А. Н., научный сотрудник:

Сейчас каждый год проводится одна большая конференция по ЛСЭ. Один из бывших сотрудников ИЯФа В. Литвиненко (ныне живущий и работающий в США) при вручении ему ежегодной премии сообщества физиков, занимающихся лазерами на свободных электронах, процитировал Библию: «Вначале Бог создал небо и землю. Земля была пустынной и темной, и Дух Божий носился над водой. И сказал Бог: да будет свет! И стал свет. И увидел Бог, что это хорошо». Вы не представляете, как это здорово — чувствовать, что ты «создал свет!»».

Это была хорошая шутка человека, сделавшего то, что никто до него не делал. Конечно, в отличие от Бога, возможности ученых ограничены ресурсами и уровнем развития технологий. Но смысл их деятельности очень близок: зажигать свет знаний для человечества. В день запуска лазера на свободных электронах я увидел лица людей, которые «создали свет». И тогда я лучше понял, ради чего работают эти люди.

