

Статья 17. Поправки к приложениям

1. Стороны договорились о том, что в приложения к настоящей Конвенции могут быть внесены изменения без пересмотра настоящей Конвенции решением совета компании при условии, что такие изменения не будут противоречить настоящей Конвенции. Для внесения изменений в приложение № 2 к настоящей Конвенции требуется единогласное решение собрания компании.

2. Неотъемлемой частью настоящей Конвенции являются:

приложение № 1. Основные положения технического проекта Европейского РЛСЭ (часть А) и

Сценарий ускоренного пуска Европейского РЛСЭ (часть В);

приложение № 2. Учредительный договор компании "Европейский РЛСЭ ГмбХ";

приложение № 3. Предполагаемые годовые расходы;

приложение № 4. План расположения;

приложение № 5. Основные правила и процедуры по вкладам в натуральной форме;

приложение № 6. Расходы на подготовительную стадию, которые зачитываются как часть общей суммы расходов на строительство.

В удостоверение чего нижеподписавшиеся представители, должным образом уполномоченные своими правительствами, подписали настоящую Конвенцию.

Совершено в г. _____ "___" _____ 2009 г. на английском, испанском, итальянском, китайском, немецком, русском и французском языках, кроме приложений № 1, 3 - 6 к настоящей Конвенции, оформленных исключительно на английском языке, причем все тексты являются подлинными, в единственном экземпляре, подлежащем депонированию в архивах Правительства Федеративной Республики Германия, которое предоставит заверенные копии всем Сторонам и присоединившимся правительствам и в последующем будет уведомлять их о любых изменениях.

За Правительство Венгерской Республики

За Правительство Греческой Республики

За Правительство Королевства Дания

За Правительство Федеративной Республики Германия

За Правительство Королевства Испания

За Правительство Итальянской Республики

За Правительство Китайской Народной Республики

За Правительство Республики Польша

За Правительство Российской Федерации

За Правительство Словацкой Республики

За Правительство Соединенного Королевства Великобритании и Северной Ирландии

За Правительство Французской Республики

За Правительство Швейцарской Конфедерации

За Правительство Королевства Швеция

Приложение № 1

к Конвенции о строительстве и эксплуатации установки Европейского рентгеновского лазера на свободных электронах

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОЕКТА ЕВРОПЕЙСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ЛАЗЕРА НА СВОБОДНЫХ ЭЛЕКТРОНАХ

(Часть А)

И

СЦЕНАРИЙ УСКОРЕННОГО ПУСКА ЕВРОПЕЙСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ЛАЗЕРА НА СВОБОДНЫХ

ЭЛЕКТРОНАХ (Часть В)

I. Введение

Технический проект установки Европейского рентгеновского лазера на свободных электронах (далее - Европейский РЛСЭ), принятый руководящим комитетом РЛСЭ в июле 2006 г., предусматривает создание комплекса для генерации электронной энергии до значений 20 ГэВ (17,5 ГэВ в стандартном режиме), пяти ондуляторных отделений с десятью экспериментальными станциями, различными рабочими помещениями, лабораториями и строениями общего назначения, расположенными на трех разных площадках. Основные положения указанного технического проекта приводятся в части А настоящего приложения к Конвенции о строительстве и эксплуатации установки Европейского рентгеновского лазера на свободных электронах (далее - Конвенция).

Общая стоимость проекта Европейского РЛСЭ, представленная в техническом проекте и в приложении № 3 к настоящей Конвенции, составляет 1081,6 млн. евро, из которых 38,8 млн. евро составляют подготовительные расходы, 986,4 млн. евро - расходы на строительство и 56,4 млн. евро - расходы на пусконаладочные работы (в ценах 2005 года).

Для того чтобы начать строительство как можно раньше, Стороны согласились с тем, что объекты будут сооружаться поэтапно, включая лишь расходы, связанные с реализацией I этапа. Затраты на строительство на I этапе были определены примерно в 850 млн. евро (вместо 986,4 млн. евро).

В части В настоящего приложения кратко изложены характеристики Сценария ускоренного пуска Европейского РЛСЭ. Описана базовая конфигурация Европейского РЛСЭ, соответствующая строительной стоимости 850 млн. евро. Эта конфигурация не является уникальной или альтернативной - в практике имеются примеры подобной конфигурации при строительстве на сумму, не превышающую 850 млн. евро. В указанной части также приведены требования к срокам для принятия окончательного решения о выборе какой-либо конкретной конфигурации в соответствии с техническим проектом. Все приведенные альтернативные варианты впоследствии могут быть доведены до полного объема, представленного в техническом проекте.

II. Основные положения технического проекта установки Европейского рентгеновского лазера на свободных электронах (Часть А)

1. Основные цели

Настоящий документ содержит полное техническое описание оборудования установки Европейского РЛСЭ - новой международной научной инфраструктуры, которая должна быть создана на северо-востоке г. Гамбурга. Европейский РЛСЭ предназначен для генерирования чрезвычайных ярких (пиковая яркость - 10^{33} протонов/с/мм²/мрад²/0,1%BW), ультракоротких (~ 100 фс) импульсов пространственных когерентных рентгеновских лучей с длиной волны менее 0,1 нм и использования их для революционных научных экспериментов в самых различных дисциплинах, включая физику, химию, науки о материалах и биологию. Конструкция Европейского РЛСЭ содержит основное оборудование и устройства, упрощающие будущее его расширение и совершенствование в преддверии прогресса в соответствующих технологиях. Основным процесс, принятый для генерации рентгеновских импульсов, - это самоусиливающееся спонтанное излучение (SASE), при котором электронные пучки генерируются в пушке высокой яркости, доводятся до высоких энергий (до 20 ГэВ) с помощью сверхпроводникового линейного ускорителя и проходят к длинным (до 200 м) ондуляторам, где генерируются рентгеновские лучи. Пять линий фотонного излучения обеспечивают передачу рентгеновских импульсов на десять экспериментальных станций, где для экспериментов предоставлено современное оборудование.

От применения нового пользовательского оборудования можно ожидать новых фундаментальных результатов в физике материалов, физике плазмы, науке о планетах и астрофизике, химии, структурной биологии и биохимии с возможным существенным воздействием на такие технологии, как ядерный синтез, катализ, горение (включая их экологические аспекты), а также на

биомедицинские и фармацевтические технологии. Технология сверхпроводникового ускорителя в условиях конкуренции с американскими и японскими проектами Европейского РЛСЭ позволит Европе удержать лидерство в фундаментальных и прикладных науках при наличии основанных на ускорителе источников света, которое она завоевала в начале 90-х годов благодаря строительству и эксплуатации Европейского синхротронного радиационного оборудования (ESRF) в г. Гренобле.

2. История проекта

Основная технология, лежащая в основе Европейского РЛСЭ, - это технология сверхпроводникового линейного ускорителя, разработанная в результате международного сотрудничества, которое координировалось лабораторией DESY в г. Гамбурге и исходной целью которого было создание сверхпроводникового линейного ускорителя на терраэлектрон-вольты (TESLA) - электрон-позитронного линейного коллайдера с энергией в области терраэлектрон-вольт, используемого для исследований в физике частиц, получивших название TESLA-технологий. Этот тип новейшего линейного ускорителя имеет характеристики, идеальные для рентгеновского лазера на свободных электронах (FEL). Предложение построить лазер на свободных электронах вначале как боковую ветвь линейного коллайдера, а позже как автономное устройство подала немецкому правительству лаборатория DESY. Было создано тестовое оборудование - тестовое устройство 1 TESLA или TTF1, и в 2000 году было успешно продемонстрировано лазерное излучение с длинами волн 90 нм. Созданное в 2007 году оборудование TTF2 сыграло более амбициозную роль, снизив длину волн лазерного излучения до 6 нм с помощью линейного ускорителя с энергией 1 ГэВ. За счет ускорения электронов до 0,75 ГэВ было получено лазерное излучение длиной 32 нм (январь 2005 г.) и с 13 нм (апрель 2006 г.). В августе 2005 г. была запущена мощная пользовательская программа экспериментов с лазером на свободных электронах - устройством FLASH. В 2003 году немецкое правительство решило запустить программу по созданию (строительство и эксплуатация) Европейского рентгеновского лазера на свободных электронах в г. Гамбурге, приняв на себя обязанности финансирования нового устройства в размере 60 процентов расходов на строительство и до 40 процентов эксплуатационных расходов. Выбор г. Гамбурга в качестве места для новой установки был связан с возможностью воспользоваться преимуществами уникального эксперимента и ноу-хау отделения машин лаборатории DESY в области сверхпроводникового линейного ускорителя, а также с возможностью получить непосредственный опыт в эксплуатации устройств начиная с FEL и кончая FLASH.

3. Наука и международные условия в области рентгеновского лазера на свободных электронах
Все естественные науки могут пользоваться выгодами от использования фотонов (световых волн) с различной длиной волны для исследования явлений природы. Применение инфракрасных, видимых и ближних ультрафиолетовых лучей было революционизировано благодаря изобретению газовых и твердотельных лазеров, обладающих свойствами высокой яркости, пространственной когерентности, и (в самые последние десятилетия) получению сверхкоротких импульсов длительностью от нескольких фемтосекунд и менее (1 фемтосекунда или 1 фс равна одной миллиардной миллионной доли секунды; за это время свет проходит расстояние в 0,3 мкм). Эта временная шкала имеет особую важность, поскольку атомы в молекулах и твердых веществах колеблются около своего равновесного положения с типовыми периодами нескольких сотен фемтосекунд, и в целом движения атомов при перестройке их положений в химических реакциях или фазовые трансформации также оказываются в этой временной шкале.

В диапазоне длин волн ультрафиолетовых, мягких и жестких рентгеновских лучей был достигнут значительный прогресс благодаря эксплуатации синхротронной радиации, яркой эмиссии электронами или позитронами, вращающимися в кольцевом ускорителе. Однако синхротронное излучение намного менее яркое, чем мощный лазер, имеет очень ограниченную степень пространственной когерентности и обычно выдает импульсы длительностью равные 30 тыс. фс. Целью современных проектов реализации рентгеновских лазеров на свободных электронах является распространение научно-технической революции, совершенной лазерами в диапазоне видимых

лучей, на диапазон рентгеновских лучей, обеспечивая пространственные когерентные импульсы длительностью менее 100 фс при пиковой мощности многих ГВт.

По мнению участников четырех международных семинаров, организованных в период с октября 2005 г. по март 2006 г. в гг. Гамбурге, Париже, Копенгагене и близ г. Оксфорда, выдающиеся свойства излучений Европейского РЛСЭ (когерентность, сверхвысокая яркость и временная структура) и разработка соответствующих детекторов и приборов позволят проводить совершенно новые эксперименты. Несколько примеров таких экспериментов приведено ниже.

Когерентность может быть использована для получения голографических и безлинзовых изображений в науке о материалах и биологии. Детальные теоретические исследования и моделирование предсказывают, что с помощью очень короткого и интенсивного когерентного рентгеновского импульса, получаемого от Европейского РЛСЭ, может быть зарегистрирована дифракционная картина от большой молекулы, вируса или клетки без необходимости добиваться периодичности кристаллической структуры. Это устранило бы труднопреодолимое место для многих систем, вызывающих большой интерес, например, мембранных белков, вирусов и вирусных геномов. Измерения сверхдискретной рентгеновской дифракционной картины позволяют восстанавливать фазу и, следовательно, определять структуру. Отдельные образцы, вероятно, будут разрушены очень интенсивным рентгеновским импульсом, но могут быть собраны трехмерные наборы данных, когда копии воспроизводимых образцов будут подвергаться действию луча один за другим.

Высокую интенсивность можно также использовать для получения очень высоких ионизированных состояний атомов, генерирования в лабораториях тех состояний и процессов, которые существуют в межзвездных газах. Вместе с ультракороткими длительностями импульсов высокая интенсивность может быть использована в экспериментах типа "накачка и проверка", где импульсы обычного лазера ("насос") используются для запуска химической реакции или фазового перехода и импульсов Европейского РЛСЭ ("проверка"), причем после каждого импульса накачки следует определенная задержка (от 50 фс до единиц нс или даже единиц мкс), обеспечивая "движение" атомных смещений и перестройку химических связей. Благодаря этому могут быть оценены каталитические механизмы в химических и биохимических реакциях, детально исследованы быстрые реакции (например, горение), получены изображения образований ядер упорядоченных фаз в фазовых переходах и могут быть экспериментально исследованы до сих пор недоступные состояния вещества - если импульс накачки достаточно мощный для получения плазмы, то рентгеновский импульс может проникать в высокоионизированную среду (непрозрачную для видимого света) и давать информацию о распространении ударного фронта и распределении давлений, а также об уравнивании состояния и эволюции температуры во времени.

Как уже отмечалось, потенциальное воздействие научных прорывов такого масштаба выходит за пределы фундаментальной науки. Полученные в результате указанных научных прорывов технологии имеют существенную важность для Европы. Было бы неразумным оставить конкурентные преимущества в этой области Соединенным Штатам Америки, где активно ведутся работы по проекту "Источник когерентного света от линейного ускорителя" (LCLS) в г. Стенфорде, и Японии, где проект "Компактный источник SASE Весна-8" (SCSS) получил полную финансовую поддержку для запуска уже в 2006 году. Хотя осуществление этих проектов уже началось и, возможно, будет завершено раньше проекта Европейского РЛСЭ, принятие технологии сверхпроводникового ускорителя Европейского РЛСЭ позволит получить 30 тыс. рентгеновских импульсов в секунду (а в будущем, возможно, и даже больше) по сравнению со 120 для LCLS и 60 для SCSS. В дополнение к решающему техническому преимуществу - снижению на два порядка времени, необходимого для проведения некоторых экспериментов, приобретенный при работе с FLASH полезный опыт смог бы значительно приблизить успешное научное использование Европейского РЛСЭ. Если Европейский РЛСЭ будет сооружаться по графику, сравнимому с графиком конкурирующих проектов, то он сможет занять лидирующую позицию в этой области.

Европейская лаборатория в г. Гамбурге, продолжая обеспечивать превосходство в физике и приложениях жесткого излучения рентгеновского лазера на свободных электронах, сыграла бы дополняющую роль в отношении других проектов в Европе, акцентируя внимание на мягкой рентгеновской части спектра и обеспечивая выгоды прежде всего за счет развития и совместного использования общих технологий.

4. Схема и целевые характеристики

Главными компонентами Европейского РЛСЭ являются (рисунок 4.1):

инжектор;

линейный ускоритель;

система распределения луча;

ондуляторы;

линии фотонных линий;

приборы в зале для экспериментов.

Рис. 4.1. Схема расположения основных компонентов Европейского РЛСЭ: 1 - зал экспериментов; 2 - возможное будущее расширение; 3 - ондулятор и линии фотонных лучей; 4 - система распределения лучей; 5 - туннель линейного ускорителя; 6 - инжектор.

Указанные компоненты расположены по линейной схеме (длина 3,4 км) от кампуса DESY в северо-восточной части г. Гамбурга и до зала экспериментов, расположенного вблизи федеральной земли Шлезвиг-Гольштейн к югу от г. Шерефельд.

Основные функции главных компонентов схематически описаны ниже. В инжекторе электронные пучки выбиваются из твердого катода лазерным лучом, ускоряются электронной ВЧ-пушкой и направляются к линейному ускорителю с энергией на выходе в 120 МэВ. В линейном ускорителе, состоящем из последовательно расположенных сверхпроводниковых ускоряющих модулей длиной 1,6 км, магнитов для управления и фокусирования лучей и диагностического оборудования, электроны ускоряются до энергии 20 ГэВ (17,5 ГэВ - энергия, предусмотренная для стандартного режима эксплуатации Европейского РЛСЭ). Вдоль ускорителя расположены две стадии сжатия пучка, необходимые для получения коротких и очень плотных пучков электронов, необходимых для запуска процесса SASE. В конце линейного ускорителя отдельные электронные пучки отводятся по одной или второй из двух линий для электронных лучей с помощью системы распределения лучей (рисунок 4.2). Электронные пучки, направляемые по линии 1, проходят через ондуляторы SASE1 и SASE3, обеспечивая получение относительно жестких рентгеновских фотонов с длиной волны 0,1 нм (SASE1) и мягких рентгеновских фотонов с длиной волны 0,4 - 1,6 нм (SASE3) с помощью процесса работы лазера на свободных электронах SASE. После прохода через SASE3 электроны отклоняются к месту "гашения" луча. Электронные пучки, направленные по линии 2, проходят ондулятор SASE2, где с помощью процесса SASE получают жесткие рентгеновские фотоны с длиной волны 0,1 - 0,4 нм, а затем через ондуляторы U1 и U2, завершая свой путь у второго места "гашения". В ондуляторах U1 и U2 очень жесткие рентгеновские фотоны (с длиной волны 0,014 и 0,06 нм, соответственно) генерируются за счет процесса спонтанной эмиссии. Фотоны, генерированные пятью ондуляторами, пропускаются по соответствующей линии фотонного луча в зал экспериментов, где подаются на десять экспериментальных станций. Снижение энергии электронов в конце ускорителя привело бы к генерированию излучений с более высокими длинами волн в случае, если бы они были необходимы для некоторых экспериментов (например, энергия электронов 10 ГэВ соответствовала бы рентгеновским лучам с длиной волны 4,9 нм из ондулятора SASE3).

Рис. 4.2. Схематическое изображение ответвления линий электронных (черных) и фотонных (красных) лучей через различные SASE и ондуляторы спонтанного излучения. Линии электронных лучей заканчиваются в двух местах "гашения", линии фотонных лучей - в зале экспериментов: 1 - электроны; 2 - перестраиваемый, планарный; 3 - перестраиваемый, спиральный; 4 - эксперименты. Монтажные и пусконаладочные работы на ускорителе, ондуляторах, линиях лучей и

экспериментальных станциях будут проводиться постепенно в соответствии со стратегией достижения промежуточных и конечных целей, поставленных для Европейского РЛСЭ. Эта стратегия была определена по рекомендациям рабочей группы научно-технических проблем (STI).

Первую линию электронного луча и ондулятор SASE1 собираются установить первыми. Пуск в работу ускорителя и ондулятора SASE1, линии луча и первой станции будет проводиться параллельно с монтажом другой электронной ветви до тех пор, пока не будет достигнут первый комплекс промежуточных значений (таблица 4.1).

По рекомендациям рабочей группы STI для пуска в эксплуатацию комплекса ускорителя и излучателей и линий луча SASE были приняты следующие критерии:

комплекс ускорителя и SASE1 начнет работать, когда на SASE1 будет получен фотонный луч с промежуточными значениями, указанными в таблице 4.1, и будет установлено и пущено в работу оборудование, достаточное для проведения первых научных экспериментов;

SASE2 начнет работать, когда будут обеспечены те же критерии, что и указанные выше, для длин волн в диапазоне от 0,2 до 0,4 нм;

SASE3 начнет работать, когда будут обеспечены те же критерии, что и указанные для длин волн в диапазоне от 2 до 6 нм.

В соответствии с положительным опытом, полученным для оборудования FLASH, работы по достижению конечных целей проекта на всех линиях лучей будут производиться параллельно с работой ранних пользователей (как только будут обеспечены указанные критерии).

Таблица 4.1. Промежуточные и конечные проектные значения для ускорителя и ондулятора SASE1 и соответствующей линии фотонного луча

Параметр

SASE1 (промежуточные значения)

SASE1 (конечные проектные значения)

Единицы

Длина волны

< 0,2

< 0,1

нм

Пиковая яркость

10^{30}

5×10^{30}

мрад² / 0,1% BW

Размеры образца (без оптики)

< 1

< 0,6

мм², FWHM

Стабильность положения

50

10

% от размера луча, среднеквадратический %

Стабильность энергии фотона

~ 0,1

~ 0,1

%

Флуктуации интенсивности от импульса к импульсу

до 10

0,3 - 0,5

безразмерная, от пика к пику

5. Затраты, календарный график и персонал

5.1. Затраты на проект

Все затраты от подготовки проекта до фазы пусконаладочных работ (то есть до пуска в эксплуатацию) должны быть подсчитаны с целью определения общей стоимости строительства по проекту (TPCC). В течение приблизительно 2,5 года строительство, пусконаладочные работы и эксплуатация будут происходить одновременно (см. также обсуждение календарного графика и бюджета, приведенное ниже). Вклад в TPCC, приведенный в таблице 5.1, предусматривает: расходы на подготовку проекта, которые осуществляются с момента, когда вступил в силу Меморандум договоренности по Европейскому РЛСЭ (в конце 2004 года) между DESY и организациями, заключившими контракты о сотрудничестве с DESY в соответствии с указанным Меморандумом; расходы на строительство (в надлежащем смысле) ускорителя, ондуляторов, линий фотонных лучей, научных приборных систем, зданий и инженерной инфраструктуры Европейского РЛСЭ, включая капитальные затраты и рабочую силу; расходы на пуск оборудования с лучами; надбавки к расходам на персонал с целью учета денежных пособий (подъемных) на переезд членов персонала из их родной страны для работы в компании; дополнительные накладные расходы на персонал с учетом расходов компании на управление и поддержку.

Текущие расходы во время строительства (электроэнергия, вода, гелий) не включены в TPCC, поскольку они будут включены в бюджет эксплуатации DESY, то есть будут бесплатными для проекта Европейского РЛСЭ. Расходы, относящиеся к приобретению земли, также не включены в TPCC, поскольку Германия предложила предоставить землю для проекта бесплатно.

Таблица 5.1. Общая стоимость строительства по проекту, включая фазы подготовки-пуска. Все цифры расходов приведены в ценах 2005 года.

Подготовка проекта

38,8 млн. евро

Проектное строительство, капитальные вложения

736,3 млн. евро

Проектное строительство, персонал

233,4 млн. евро

Общие расходы на строительство

969,7 млн. евро

Пусконаладочные работы с лучами

54,9 млн. евро

Дополнительные расходы на персонал (подъемные) для компании

6,1 млн. евро

Дополнительные накладные расходы на управление для компании

12,1 млн. евро

Общие расходы на проектное строительство

1081,6 млн. евро

Разбивка расходов на строительство по основным компонентам оборудования приведена на рисунке 5.1.

Рис. 5.1. Разбивка надлежащих расходов на строительство (сумма капитальных вложений и расходов на персонал) по группам работ, соответствующих основным компонентам оборудования: 1 - распределение расходов на строительство (инвестиции + персонал); 2 - линейный ускоритель; 3 - подсистемы ускорителя; 4 - ондулятор и линии фотонных лучей; 5 - управление и эксплуатация; 6 -

инженерная инфраструктура; 7 - здания и сооружения.

Анализ риска перерасходов был проведен в соответствии с руководящими указаниями подгруппы, занимающейся проблемами, полных расходов (FCI) рабочей группы по администрированию и финансовым вопросам (AFI). Полученный в результате бюджет риска (8 процентов от надлежащих расходов на строительство) составляет 78 млн. евро, являясь дополнительной суммой, необходимой для доведения вероятности успешного завершения создания Европейского РЛСЭ в пределах бюджета до значения 98 процентов.

Ориентировочные годовые эксплуатационные расходы Европейского РЛСЭ после окончания всех строительных работ составляют 83,6 млн. евро, включая все текущие расходы на эксплуатацию, техническое обслуживание и модернизацию, а также поддержку работ международных пользователей и программ аспирантов и посещающих научных работников.

5.2. Календарный график проекта

Календарный график проекта представлен на рисунке 5.2. Предполагается, что официальный пуск сооружений проекта будет осуществлен в январе 2007 г. Для каждой из основных частей оборудования могут быть определены следующие фазы строительства (которые могут иногда осуществляться одновременно):

проектирование, моделирование и индустриализация;

изготовление (включая предсерийное);

монтаж;

пуск в работу (инженерной части и лучей).

В целом календарный график строительства обеспечивает этап подачи первого луча в линейный ускоритель через 6,5 года после начала строительства. В этот момент также будет смонтирована первая ветвь линий лучей с ондулятором SASE1. Затем будет осуществляться пуск лучей, вплоть до достижения промежуточных этапов излучения SASE1, то есть через 7,5 года после начала строительства. Эта линия луча станет использоваться для первых экспериментов. За этим последует пуск других линий лучей.

Рис. 5.2. Календарный график для основных компонентов Европейского РЛСЭ с начала строительства до начала эксплуатации.

5.3. Бюджет

При различных вкладах в ТРСС, приведенных выше, с учетом графика строительства и эксплуатационных расходов может быть составлен полный бюджет для всех фаз от подготовки до эксплуатации. На рисунке 5.3 показан годовой бюджет в период 2005 - 2016 годов в ценах 2005 года (то есть без применения шкалы надбавок для учета инфляции).

Рис. 5.3. Бюджет (сумма капитальных вложений и расходов на персонал в ценах 2005 года) от подготовки проекта до эксплуатации: 1 - бюджет Европейского РЛСЭ; 2 - тыс. евро; 3 - эксплуатация; 4 - пусконаладочные работы; 5 - строительство; 6 - подготовка.

Расчеты по расходам на персонал, представленные в таблице 5.1 (явно) и на рисунке 5.3 (скрыто), соответствуют расходам на персонал, нанятый для работы на Европейском РЛСЭ, а также расходам на персонал для тех работ по проекту, которые проводятся в качестве вклада в натуральной форме со стороны лабораторий стран-участниц.

III. Сценарий ускоренного пуска Европейского рентгеновского лазера на свободных электронах (Часть В)

1. Основные особенности конфигурации ускоренного пуска

При ускоренном пуске весь спектр фотонного излучения, указанный в техническом проекте, будет доступен, однако конфигурация ускоренного пуска будет включать только три линии фотонного излучения (вместо пяти) и шесть экспериментальных станций (вместо десяти). Характеристики ускорителя, указанные в техническом проекте, сохраняются, оборудование обеспечит параметры для работы с длиной волны фотонов 0,1 нм. Однако более высокие энергии ускорителя по сравнению

с работой в стандартном режиме (17,5 ГэВ) будут удалены. Сокращение издержек планируется таким образом, чтобы конфигурация ускоренного пуска могла быть расширена до конфигурации оборудования, указанного в техническом проекте. Все удаленные или сокращенные части установки в зависимости от наличия необходимых средств могли бы быть реализованы в ходе строительства или позже. Тем не менее во избежание дополнительных затрат и усилий решение о переустановке разумного элемента оборудования должно быть принято в течение определенного периода времени. Эти важнейшие моменты времени по основным элементам сокращений указаны в настоящей части.

2. Подробная информация о сокращении расходов и его последствиях

Комплекс ускорителя

В главной секции линейного ускорителя (после 2-й стадии сжатия пучка) не будут установлены четыре элемента (четыре модуля ускорителя и по одной радиочастотной станции на элемент). Это снизит энергию линейного ускорителя с 20 до 17,5 ГэВ и количество резервных подразделений с двух до одного в этой части ускорителя (другой резервный блок остается в секции сжатия пучков). Соответствие энергии 17,5 ГэВ параметрам технического проекта гарантируется. Однако существенно сократится возможность увеличения энергии пучка и импульсов. Решение установить изначально ограниченное количество элементов было принято во время запуска процесса тендера для компонентов линейного ускорителя (середина 2008 г.).

Будет построена полная система от выбивания электронных пучков до "гашения" луча как часть конфигурации ускоренного пуска, в то время как установка некоторого специального оборудования диагностики пучка будет отложена на более позднее время.

Ондуляторы и эксперименты

Будет сокращено количество ондуляторов с пяти до трех. Число экспериментальных станций с их инфраструктурой соответственно снижается (шесть вместо десяти). Соответственно произойдет сокращение экспериментальных объектов, исследований в области окружающей среды, лабораторий по изготовлению проб, специальных приборов (все сокращено на 50 процентов) и научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по специальным детекторам (40 процентов).

Одно из трех событий по обнаружению и отбору частиц будет отложено до тех пор, пока не произойдет наращивание оборудования до полной конфигурации проекта. Позже возможно вернуться к расширению в соответствии с первоначальным планом. На следующем рисунке показана возможность, иллюстрирующая эти изменения. Она преследует цель покрыть тот же спектр фотонной энергии, как это предусмотрено в техническом проекте, хотя и с ограниченными возможностями параллельной эксплуатации приборов. На рисунке указана возможность перехода электронов от своей первоначальной позиции через SASE3 на позицию U1.

Рис. Вариант для схемы компоновки ондуляторов в реализации первого этапа создания Европейского РЛСЭ.

Это может быть выгодно в том случае, если восстановление линии для электронных лучей SASE2 будет отложено на более позднее время, поскольку две установленные линии SASE могут работать независимо друг от друга, что обеспечивает большую операционную гибкость. Ниже в документе представлены четыре возможные вариации указанного сценария, дающие представление о большой гибкости в выборе направлений фотонных пучков и станций в ходе первого этапа реализации проекта. Время для определения количества ондуляторов и самой конфигурации определяется временем размещения первого заказа. Такой заказ в настоящее время запланирован на вторую половину 2009 г. На этот срок может повлиять разработка аппаратуры объемных детекторов, решение по которым было принято в первой половине 2007 г.

3. Техническая инфраструктура

Вместо строительства нового завода жидкого гелия существующий завод HERA должен быть отремонтирован и модернизирован. Два из трех разжижителей будут использоваться для Европейского РЛСЭ, третий - для FLASH. Это приведет к сокращению избыточности в случае неудачи,

но одного из двух элементов достаточно для поддержания линейного ускорителя в холодном состоянии и даже для управления им с ограниченными параметрами. DESY теряет возможность использовать часть завода для других целей.

Модуль испытаний ускорителя будет уменьшен за счет слияния (первоначально - отдельно) горизонтальной полости испытательного стенда с одним из трех модулей испытательных станций. Таким образом, только два модуля испытательного стенда будут доступны в ходе проведения теста в горизонтальном охладителе. Ожидается, что это произойдет только в течение первого этапа создания модуля на начальном уровне и не приведет к задержкам в серийном производстве и испытании модулей ускорителя. Возможное решение по этим пунктам было принято в середине 2007 г.

4. Здания

Планировка подземного здания сохранена полностью с тем, чтобы иметь возможность расширить конфигурацию оборудования ускоренного пуска до инфраструктуры, указанной в техническом проекте. Размер здания Управления строительством, а также столовая в кампусе г. Шенефельд могут быть уменьшены, но позже возможно расширение этих зданий. Холл нового криогенного завода удален.

Решение о возведении первоначально запланированного полноразмерного комплекса зданий кампуса необходимо принять к моменту объявления тендера или, самое позднее, в 2009 году, в случае, если предусматривается объявление тендера отдельными "траншами".

5. Оценочная стоимость

Конфигурация ускоренного пуска, основанная на указанных предположениях, позволяет сократить расходы примерно на 137 млн. евро: с 986 млн. евро для полномасштабной конфигурации установки в соответствии с техническим проектом и приложением № 3 к Конвенции. Сокращение расходов включает 106,9 млн. евро по статье инвестиции и 30,1 млн. евро на персонал, но при этом сохраняет расходы на строительство в размере 849,3 млн. евро (в ценах 2005 года). Разбивка достигаемой экономии по комплексам работ приводится в таблице ниже.

(млн. евро, в ценах 2005 года)

Комплекс работ

Сокращение расходов (по сравнению с техническим проектом)

Сокращение стоимости строительства (инвестиции + персонал) всего проекта Европейского РЛСЭ по конфигурации ускоренного пуска

на инвестиции

на персонал

Линейный ускоритель

24,9

4

231,2

Подсистемы ускорителя

1,6

1,1

83,6

Ондуляторы и фотонные линии

57,9

18,5

149,5

Контроль и управление

0,2

0,8

38,4

Инфраструктура

15,2

2,4

171,7

Территория и здания

7,1

0

161,6

Дополнительные расходы, связанные с содержанием персонала ГмбХ

0

3,3

13,3

Итого

106,9

30,1

849,3

6. Альтернативные сценарии для начала ускоренного пуска

В последующих разделах приводятся альтернативные сценарии по реализации конфигурации ускоренного пуска Европейского РЛСЭ. Эти альтернативы показывают, что бюджет конфигурации ускоренного пуска Европейского РЛСЭ, и в частности сокращение расходов на фотонные волноводы, по-прежнему обеспечивает гибкость, необходимую для удовлетворения запросов научных сообществ. Поскольку окончательное решение по выбору одного из этих вариантов не является абсолютно необходимым (если оно вообще необходимо), то его надо будет тщательно обсуждать с представителями научных сообществ.

Стоимостные оценки в вышеприведенной таблице даны по отношению к базовому сценарию.

Альтернативный сценарий А

В этом случае применяется лишь умеренное изменение, заключающееся в том, что вместо SASE1 изначально устанавливаются устройства SASE2. Это позволит ускорителю работать на постоянной энергии, в то время как настройка энергии фотонов будет осуществляться за счет изменения ондулятора. Для того чтобы покрыть более высокую стоимость SASE2 по сравнению с SASE1, ондулятор SASE3, производящий мягкие рентгеновские фотоны, не создается по спиральной технологии, а выполняется в виде более традиционного плоскостного устройства. Сокращение расходов на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы и на строительство плоскостных устройств позволяет достичь существенной экономии. Последующий переход к спиральному ондулятору, обеспечивающему получение вращающегося поляризованного излучения, может быть реализован простым путем замены сегментов ондулятора на конечных участках. Расходы по этому сценарию на 2,7 млн. евро ниже, чем указано в базовом варианте. Время принятия решения в пользу этого сценария зависит от количества сегментов ондуляторов, которое необходимо заказать в 2009 году, и этапа научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по спиральным ондуляторам.

Альтернативный сценарий В

В этом случае акцент делается на получение жестких рентгеновских фотонов, сохраняя обе линии для жестких рентгеновских излучений на свободных электронах SASE1 и SASE2. Чтобы компенсировать более высокую стоимость этих устройств, другие ондуляторы не будут строиться в ходе первого этапа этого проекта. Поскольку экспериментальный зал предоставляет достаточное пространство, то дополнительно можно построить около шести устройств вокруг этих двух ондуляторов. Значительные ресурсы для ондулятора и потоков частиц могут быть использованы в

рамках данного сценария для расширения бюджета на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по защите окружающей среды и детекторам.

Расходы по этому сценарию на 1,1 млн. евро ниже, чем указано в базовом варианте. Этот сценарий может быть расширен до полномасштабной конфигурации в любой момент без увеличения расходов. Однако следует помнить о том, что этап научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ для спирального ондулятора SASE3 должен начинаться за 2,5 года до даты установки.

Альтернативный сценарий С

В этом случае все три ондулятора SASE1, SASE2 и SASE3 включены в первый этап всего проекта. В качестве ондулятора мягкого рентгеновского излучения используется конфигурация плоскостного устройства (см. альтернативный сценарий А). В целях покрытия возросших расходов на ондуляторы предлагается сократить их количество с шести до четырех единиц. Можно было бы предусмотреть установку этих четырех единиц оборудования для производства жесткого рентгеновского излучения SASE1 и SASE2, а также оборудовать открытый порт мягкого рентгеновского излучения, где группы экспериментаторов могли бы применять собственные аппараты (FLASH концепция). Кроме того, научное оборудование SASE3 могло бы быть построено за счет средств, предоставленных консорциумами экспериментаторов.

Расходы по этому сценарию на 0,9 млн. евро ниже, чем указано в базовом варианте. Этот сценарий может быть в любой момент расширен до полномасштабного без увеличения расходов. В отношении спиральной конфигурации SASE3 действительно то, что прописано по альтернативному сценарию А.

7. Заключение

Затраты на строительство, составляющие 850 млн. евро, позволят создать установку в конфигурации ускоренного пуска со следующими особенностями:

установку впоследствии можно будет расширить до полного объема, как это предусмотрено в техническом проекте, без дополнительных расходов, если своевременно будут приниматься соответствующие решения;

установка предоставляет возможность выбора различных излучателей для первого этапа и, следовательно, для различных экспериментальных программ, предусматривающих большую или меньшую степень приоритетности, жесткое или мягкое рентгеновское излучение, когерентную или спонтанную эмиссию и варианты возможности других характеристик.

ПРИЛОЖЕНИЕ № 2

к Конвенции о строительстве и эксплуатации установки Европейского рентгеновского лазера на свободных электронах

УЧРЕДИТЕЛЬНЫЙ ДОГОВОР

компании "Установка Европейский рентгеновский лазер на свободных электронах ГмбХ"
("Европейский РЛСЭ ГмбХ")

Нижеподписавшиеся компании-учредители (далее - участники), учитывая Конвенцию о строительстве и эксплуатации установки Европейского рентгеновского лазера на свободных электронах (далее - Конвенция), подписанную в _____ между Сторонами, указанными в преамбуле

(место) (дата)

Конвенции, в дальнейшем именуемыми Сторонами,

отмечая, что _____

(организация, страна)

и _____ образовали консорциум

(организация, страна)

_____ в целях участия в компании, что

(наименование)

(количество и наименование организаций)

составили консорциум _____

(наименование)

для своего участия в компании и что, хотя они подписали настоящий Учредительный договор компании, только консорциум

_____,

(наименование)

представленный _____,

(наименование)

консорциум _____,

(наименование)

представленный _____,

(наименование)

и консорциум _____,

(наименование)

представленный _____,

(наименование)

являются участниками компании,

достигли договоренности о создании компании с ограниченной ответственностью "Установка Европейский рентгеновский лазер на свободных электронах ГмбХ" в соответствии с законодательством Федеральной Республики Германия, в частности Законом об обществах с ограниченной ответственностью.