

На правах рукописи



Тропин Игорь Станиславович

**Математические модели в проектах нового
позитронного источника для КЕКВ и
детектора SiD для ILC**

01.04.16 – Физика атомного ядра и элементарных частиц

01.04.20 – Физика пучков заряженных частиц и ускорительная техника

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени

кандидата физико-математических наук

Работа выполнена в *Национальном исследовательском Томском политехническом университете на кафедре прикладной физики физико-технического факультета.*

Научный руководитель:	<i>доктор физико-математических наук, профессор, Кольчужкин Анатолий Михайлович</i>
Научный консультант:	<i>доктор физико-математических наук, профессор, Потылицын Александр Петрович</i>
Официальные оппоненты:	<i>доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, Рыжов Виктор Васильевич</i> <i>кандидат физико-математических наук, доцент, Логачёв Павел Владимирович</i>
Ведущая организация:	<i>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»</i>

Защита состоится «22» июня 2010 г. в 15³⁰ часов на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д212.269.05 при *Национальном исследовательском Томском политехническом университете*, расположенном по адресу: *634050, г.Томск, пр.Ленина, 30*

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке *Национального исследовательского Томского политехнического университета.*

Автореферат разослан «21» мая 2010 г.

Учёный секретарь совета по защите
докторских и кандидатских диссертаций,
кандидат физико-математических наук,

доцент

Кожевников А.В.

Общая характеристика работы

Актуальность работы Дальнейший прогресс в области физики высоких энергий, в частности, поиск Хиггс-бозонов и суперсимметричных частиц, связывается с запуском в 2010 году ускорителя LHC (CERN), а также с реализацией проектов линейных коллайдеров электронов и позитронов ILC или CLIC. Проектирование новых коллайдеров и совершенствование существующих в значительной степени обусловлено требованиями статистической обеспеченности и выявляемости ожидаемых редких событий в месте встречи пучков. Выполнение этих требований ставит ряд научных и технических проблем, которые формируют объекты исследований многочисленных международных коллабораций, образовавшихся в последние годы. Данная работа является итогом участия автора в двух таких научных объединениях. Предметом исследования в них были методы увеличения светимости в точке встречи пучков коллайдера KEKB в национальном ускорительном центре КЕК (Япония) и разработка детектора SiD для проектируемого коллайдера ILC, который, возможно, будет построен вслед за большим адронным коллайдером LHC, созданным в Европейском Центре Ядерных Исследований (CERN). Результаты, представленные в работе, стали частью коллективных усилий в указанной области.

Цель диссертационной работы В рамках предмета исследований, определённого выше, при выполнении работы преследовались следующие цели:

- Увеличить интенсивность позитронного источника KEKB.
- Для проектируемого коллайдера ILC получить и исследовать влияние на детектор SiD фона, возникающего при взаимодействии гало пучка с коллимационной системой секции доставки пучка к месту встречи –

BDS (beam delivery section).

Для достижения указанных целей ставились следующие задачи:

- Обосновать принципиальную возможность использования ориентированных кристаллических мишеней в позитронных источниках для увеличения выхода позитронов.
- Разработать математическую модель экспериментальной установки, применявшейся для измерения тока позитронов, генерируемых в мишени, подтвердить справедливость модели сравнением результатов моделирования с экспериментальными данными, полученными для аморфных мишеней. Получить угловые и энергетические распределения позитронов, регистрируемых установкой. Найти аксептанс установки.
- Оценить температурный режим в кристаллической мишени при эксплуатации на электронном пучке линейного ускорителя – инжектора КЕКВ.
- По данным мониторинга пучка в позитронном источнике получить условие захвата позитронов согласующим устройством, пригодное для применения в программах моделирования переноса излучения в кристаллах.
- Получить данные о составе и характеристиках фонового излучения, попадающего в детектор из линий доставки (BDS) в проекте ILC.
- Определить интенсивность событий в подсистемах детектора SiD, вызванных фоном из секций доставки пучков BDS. Оценить эффективность применения магнитных спойлеров в туннеле BDS для защиты детектора.

- Сравнить уровень фона в детекторных системах с допустимыми пределами.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- Обоснован и впервые реализован на коллайдере КЕКВ новый метод увеличения светимости в точке встречи e^+e^- пучков, основанный на использовании когерентных процессов взаимодействия электронов в кристаллах для повышения эффективности позитронного источника.
- Для проекта ILC получены новые данные о составе, характеристиках и влиянии на системы детектора SiD составляющей фона, обусловленной потерями пучка в коллимационной системе ускорителя.

Практическая значимость В результате выполнения поставленных задач, на 25% увеличена интенсивность позитронного источника коллайдера КЕКВ, на котором исследуется нарушение CP симметрии при распаде В-мезонов. Для проекта ILC, полученные новые данные являются основанием для принятия решений при дальнейшей разработке BDS, детектора и проектировании защиты экспериментального зала.

На защиту выносятся следующие результаты и положения:

1. Данные моделирования эксперимента по выходу позитронов из аморфных и кристаллических мишеней, оценка аксептанса экспериментальной установки.
2. Оценка условия захвата согласующего устройства по данным моделирования.
3. Оценка нагрева кристаллической мишени и обоснование допустимости её использования для формирования позитронного пучка в позитронном источнике КЕКВ.

4. Результаты моделирования состава и характеристик фонового облучения детектора SiD, обусловленного потерями в коллимационной системе BDS, в проектируемом коллайдере ILC.
5. Данные о интенсивности событий в субдетекторах SiD, вызванных фоном, возникающим при взаимодействии гало пучка с коллимационной системой линий доставки электронного и позитронного пучка к месту встречи.
6. Способ уменьшения фона для SiD, основанный на временной дискриминации событий в детекторных системах.

Апробация работы: Полученные результаты докладывались на международных семинарах и конференциях: POSIPOL2009, June 2009, Lyon, France; Advanced Beam Dynamics Workshop NANOBEAM-2008, May 2008, Novosibirsk, Russia; VII International Symposium on Radiation from Relativistic Electrons in Periodic Structures (RREPS-07), Prague, the Czech Republic, Sep. 2007; 22th Particle Accelerator Conference (PAC'07), Albuquerque, U.S.A., June 2007; 2006 International Linear Accelerator Conference (LINAC'06), Knoxville, Tennessee, U.S.A., August 2006;

Публикации. Материалы диссертации опубликованы в 15 печатных работах, из них 5 статей в рецензируемых журналах [A1, A2, A3, A4, A5], 5 статей в сборниках трудов международных конференций [A6, A7, A8, A9, A10] и 5 препринтов национальных лабораторий Fermilab(США) и КЕК(Япония) [A11, A12, A13, A14, A15], по материалам которых делались доклады на международных конференциях.

Личный вклад автора При исследовании свойств позитронного источника весь объем задач моделирования выполнен автором самостоятельно. Экспериментальное исследование свойств кристаллических мишеней для ге-

нерации позитронов выполнялось в составе экспериментальной группы совместно с сотрудниками КЕК. Временные и пространственные распределения событий, обусловленных фоном ускорителя, для детектора SiD в проекте ILC получены в соавторстве с сотрудниками Fermilab. Американскими коллегами было выполнено моделирование взаимодействия гало пучка с коллимационной системой BDS и сформированы базы данных фазовых координат частиц фона на входе в детектор. Автором реализован генератор событий, позволяющий использовать эти данные как источник для программы моделирования событий в детекторе SiD, построенной на основе GEANT4 и разработанной в SLAC. Полученная в результате моделирования база данных событий в детекторе, вызванных фоновыми частицами, обрабатывалась автором с помощью разработанных им программ. Анализ результатов выполнен совместно с американскими коллегами.

Структура и объем диссертации Диссертация состоит из введения, трёх глав, заключения, списка литературы из 49 наименований, изложена на 103 страницах машинописного текста, содержит 28 рисунков, 8 таблиц.

Содержание работы

Во Введении обоснована актуальность диссертационной работы, показана научная новизна и практическая значимость полученных результатов, представлены выносимые на защиту научные положения.

В первой главе представлены методы и инструментарий, применявшийся при выполнении работы.

Во второй главе рассматривается решение задач по модернизации позитронного источника В-фабрики национальной ускорительной организации КЕК (Япония) с целью увеличения светимости в точке встречи e^+e^- пучков.

В традиционном позитронном источнике использовалась аморфная воль-

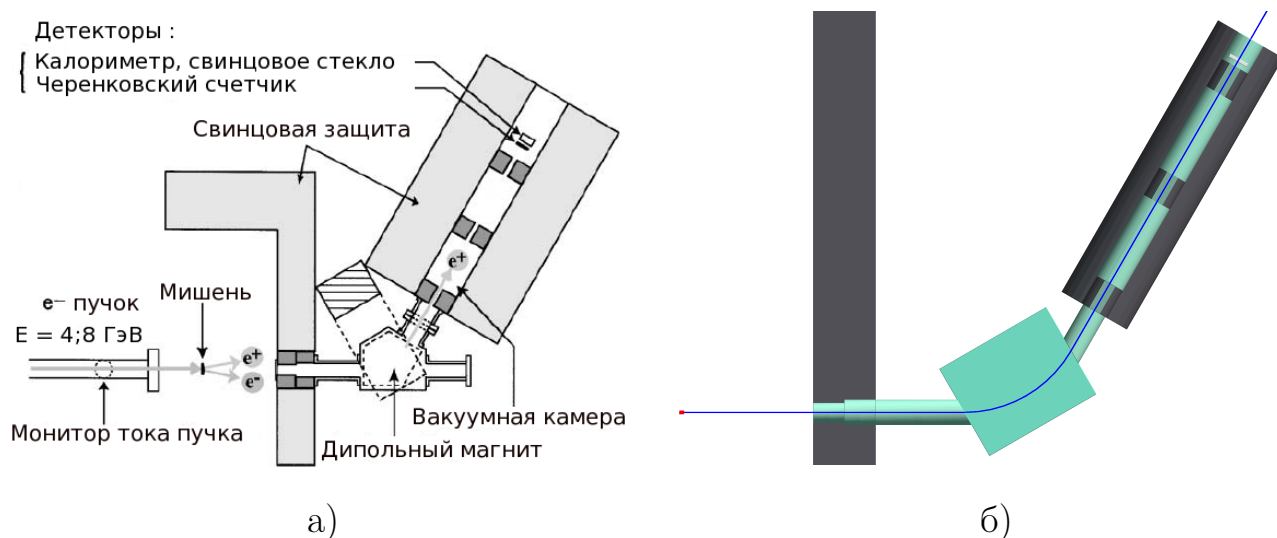


Рис. 1. Экспериментальная установка для исследования выхода позитронов из различных мишеней: а) Схема установки; б) визуализация модели, реализованной в GEANT4.

фрамовая мишень толщиной 14 мм, которая облучалась пучком электронов инжекторного линейного ускорителя КЕКВ с энергией 4 ГэВ. Идея модернизации состояла в замене аморфной мишени на кристаллическую. Гипотеза о возможности применения монокристаллов в качестве мишени в электрон-позитронных конвертерах, выдвинутая в [1], проверялась в серии совместных экспериментов, выполненных на линейном ускорителе – инжекторе КЕКВ, на установке, схема которой представлена на рис.1 а). Установкой измерялось количество позитронов, покинувших мишень в узком интервале углов возле продольной оси мишени и импульсом из узкого интервала импульсов возле 20 МэВ/с. Интервал углов и импульсов, выходящих позитронов, определялся с помощью программы моделирования, построенной на основе библиотеки классов GEANT4 [2]. Тестирование модели проводилось сравнением результатов моделирования с данными эксперимента. В расчётах и экспериментах получали зависимость выхода позитронов от толщины аморфной вольфрамовой мишени при энергиях электронного пучка линейного инжекторного ускорителя КЕКВ 4 и 8 ГэВ. Пример полученных зависимостей для

пучка с энергией 4 ГэВ приведён на рис. 2. Результаты нормированы на один первичный электрон. Из рисунка видно, что данные моделирования и эксперимента согласуются с точностью не хуже 5%.

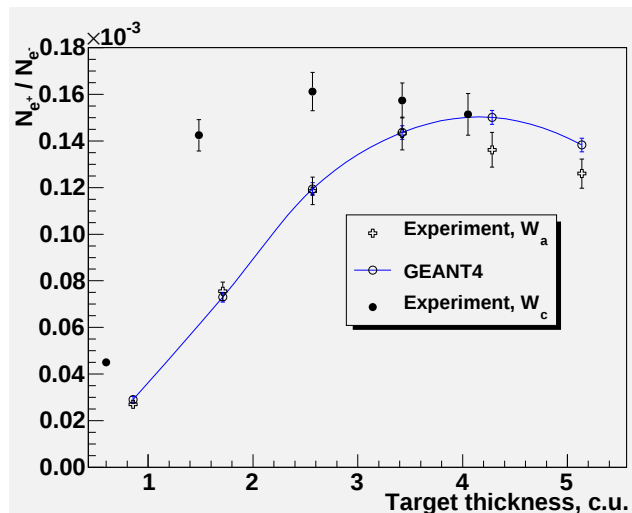


Рис. 2. Зависимость числа позитронов, регистрируемых экспериментальной установкой, от толщины аморфных и кристаллических вольфрамовых мишеней. Энергия первичного электронного пучка линейного инжекторного ускорителя КЕКВ – 4 ГэВ.

на вычислительном кластере высокой производительности, где электромагнитные ливни моделировались параллельно на узлах кластера. При реализации программы использовался адаптированный для нашей задачи инструментарий ParGEANT [3, 4], основанный на библиотеке TOP-C [5]. Расчёты выполнялись на кластере Национального исследовательского Томского политехнического университета СКИФ-Политех. Использование 96 узлов кластера ускорило выполнение программы в 50 раз по сравнению с последовательной программой.

Пример полученных таким образом распределений, по которым анали-

Видно также, что для регистрации одного события в детекторе необходимо проследить $\sim 10^3$ ливней в мишени. Поэтому время, необходимое, для получения статистически обеспеченного результата, даже при расчёте интегральной характеристики, приведённой на рисунке, оказалось весьма значительным. Чтобы увеличить эффективность расчётов и получить возможность изучать энергетические и угловые распределения регистрируемых детектором позитронов на выходе из мишени, программа моделирования была модифицирована для использования

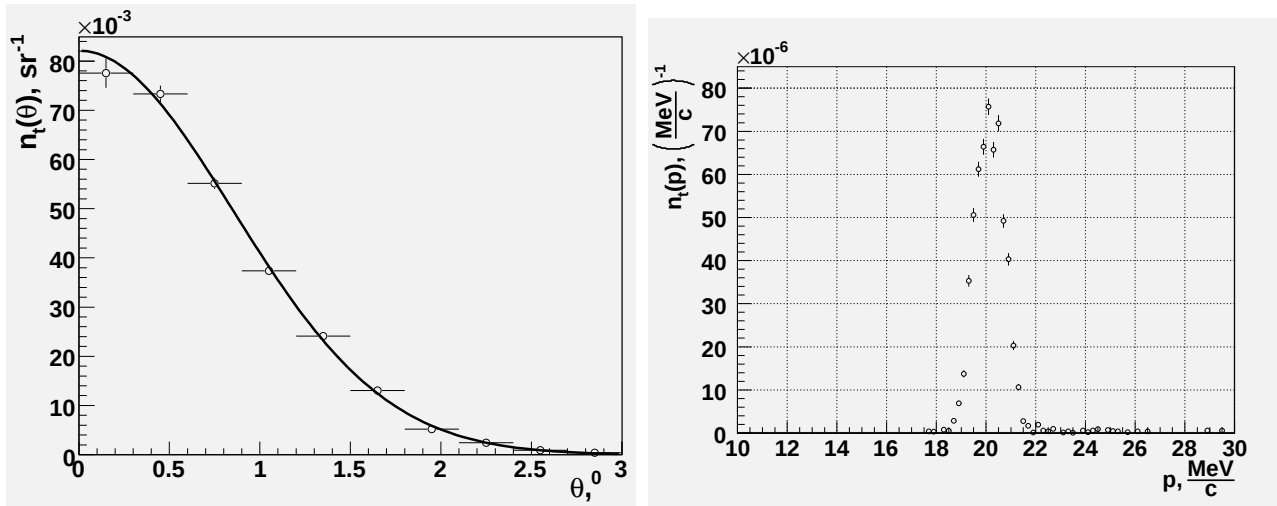


Рис. 3. Спектр и угловое распределение позитронов, измеряемых экспериментальной установкой, на выходе из мишени.

зировался аксептанс установки приведён на рис. 3. Анализ показал, что для всех энергий первичного пучка и толщин мишени форма распределений не изменяется и хорошо аппроксимируется распределением Гаусса. Изменение толщины мишени и/или энергии первичных электронов приводит к изменению высоты максимума, но не изменяет ширину распределения. Так, позитроны, регистрируемые счётчиком, на выходе из мишени описывается гауссианом со средним значением 20 МэВ/с и среднеквадратичным отклонением 0.56 МэВ/с, среднеквадратичный угол, с которым частицы покидают мишень оказывается равен 14.8 мрад.

Из рис.2 можно видеть, что в указанном спектрально-угловом интервале кристаллическая вольфрамовая мишень оказывается более эффективной для генерации позитронов по сравнению с аморфной. Аналогичное поведение наблюдалось в экспериментах с мишенями из кремния, алмаза и комбинированными мишенями, состоящими из кристалла и аморфного вольфрама [A9]. Максимальный выход в пересчёте на один первичный электрон продемонстрировала монокристаллическая вольфрамовая мишень с ориентацией кристаллографической оси $\langle 111 \rangle$ вдоль оси пучка. При толщине кристаллической

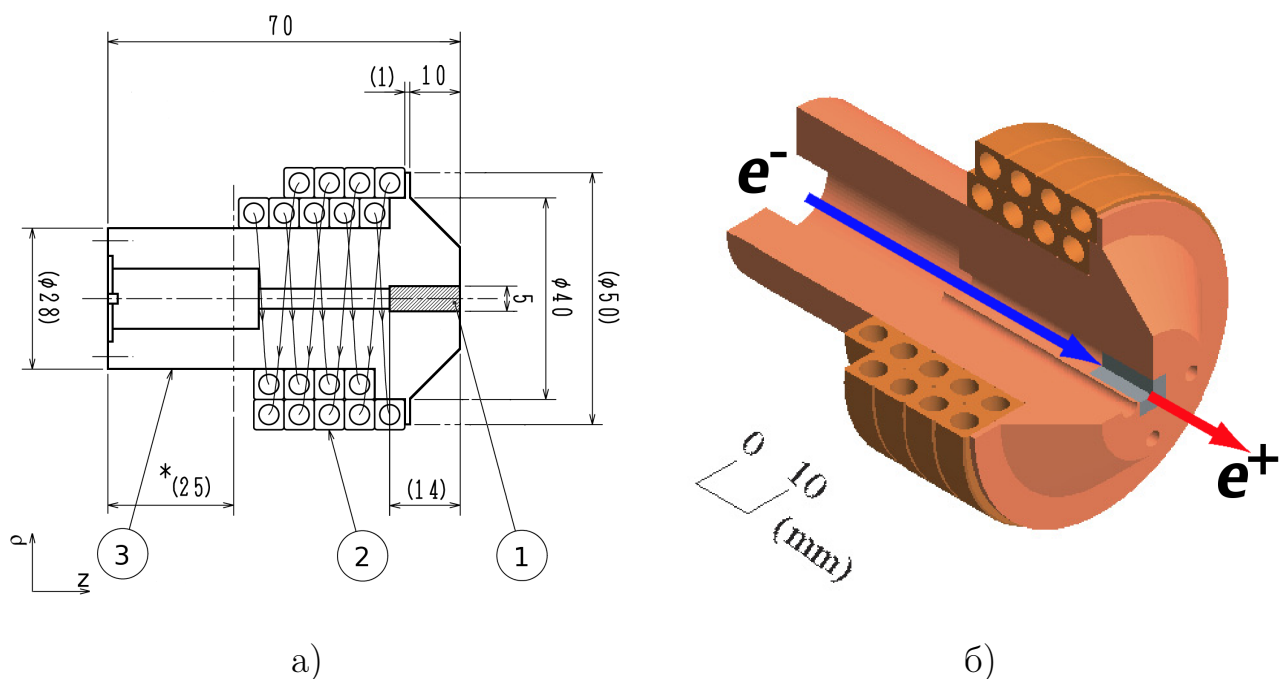


Рис. 4. Мишенная сборка позитронного источника линейного ускорителя КЕКВ: а) составные части и основные размеры: 1 — мишень, 2 — медная рубашка охлаждения, 3 — трубка водяного охлаждения; б) общий вид, места установленных термодатчиков

вольфрамовой мишени 10.5 мм выход позитронов на пучке с энергией электронов 4 ГэВ превысил выход из аморфной мишени толщиной 14 мм на 25%. Полученные результаты явились основанием для замены аморфной вольфрамовой мишени на кристаллическую в позитронном источнике на линейном ускорителе КЕКВ.

Чтобы избежать нежелательного воздействия температуры, конструкция мишенной сборки, применяемая в позитронном источнике на линейном ускорителе КЕКВ (рис. 4), предусматривает принудительное водяное охлаждение. Мишень запрессована в медную рубашку, вокруг которой навивается полая медная трубка прямоугольного сечения. По трубе под давлением прокачивается вода. Для контроля температуры мишени на задней плоскости сборки на расстоянии 7.5 мм от её оси установлены два контактных датчика температуры. Места установки температурных датчиков можно видеть на

рис. 4б) в виде углублений на поверхности рубашки. Во время работы позитронного источника температура мишени контролируется по усреднённым показаниям обоих датчиков. Задача состояла в том, чтобы найти распределение температуры внутри мишени и показать, что при длительном облучении её сгустками электронов с частотой 50 Гц и зарядом 7.8 нК максимальная температура в кристалле не превысит температуру Дебая.

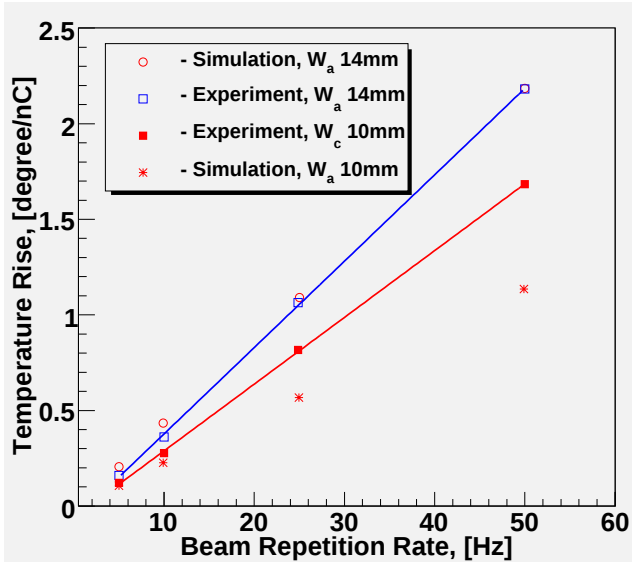


Рис. 5. Зависимость роста температуры от частоты следования сгустков электронов пучка

— энергия частиц электромагнитных
ливней, порождённых электронами
сгустка, поглощённая в единичном
объёме возле точки $\vec{r}$; $T_{n-1}(\vec{r})$ — температура в точке $\vec{r}$ в конце периода
охлаждения с номером $n-1$, $T_0(\vec{r}) = 25^\circ C$ — начальная температура сборки;
 $c(\vec{r}, T)$ — удельная теплоёмкость вещества в точке $\vec{r}$, зависящая от темпера-
туры T ; $d(\vec{r})$ — плотность вещества в точке $\vec{r}$.

Распределение поглощённой энергии $\frac{dE(\vec{r})}{dV}$ в аморфной мишени и окружа-
ющей её меди от одиночного сгустка вычислялось с помощью программы,
разработанной на основе инструментария GEANT4. Распределение $T_{n,0}(\vec{r})$,
полученное решением уравнения (1) использовалось в качестве начального
условия при решении нестационарного уравнения теплопроводности на про-

Температура в точке $\vec{r}$ внутри
сборки после воздействия сгустка на-
ходилась решением уравнения

$$\frac{dE(\vec{r})}{dV} = d(\vec{r}) \int_{T_{n-1}(\vec{r})}^{T_{n,0}(\vec{r})} c(\vec{r}, T) dT, \quad (1)$$

относительно верхнего предела ин-
тегрирования $T_{n,0}(\vec{r})$. В этом вы-
ражении $T_{n,0}(\vec{r})$ — температура по-
сле прохождения n -го сгустка; $\frac{dE(\vec{r})}{dV}$

межутке времени охлаждения длительностью $1/f$, где f – частота следования сгустков. Вычисления прекращались при достижении равновесного состояния системы, когда энергия подводимая к мишени сгустком электронов оказывалась равна энергии, отводимой из сборки системой охлаждения. Ещё одним условием останова было превышение температуры плавления в какой-либо точке внутри рассматриваемой пространственной области. В расчётах мы ограничили область определения температуры по координатам областью развития электромагнитных ливней в материале мишени и окружающей меди и решали задачу теплопереноса в гетерогенной цилиндрической геометрии. Влияние на теплоперенос области, оказавшейся за пределами цилиндра, учитывался с помощью конвективных граничных условий. Коэффициент теплопередачи, который фигурирует в выражении для конвективного потока, выбирался из условия совпадения расчётной и измеренной температуры в месте установки контактных датчиков (см. рис.4б) при частоте следования сгустков 50 Гц. Полученный коэффициент, использовался затем для расчёта температурных полей при других частотах следования сгустков. Уравнение теплопроводности решалось численно с использованием разновидности метода конечных разностей, известной как метод конечных объёмов (FVM). Приращение температуры, измеренное контактными датчиками, и расчётные значения температуры в соответствующих точках для аморфной вольфрамовой мишени показаны на рис. 5. Хорошее согласие расчётных и экспериментальных значений в точке, где расположены температурные датчики, даёт основание утверждать, что пространственное распределение температуры, полученное моделированием, можно использовать и для оценки температуры внутри мишени. В полученном распределении максимум температуры соответствует максимуму в распределении поглощённой энергии и расположен на оси пучка возле границы, через которую позитроны покидают мишень. После прохождения сгустка максимальная температура в равновесном состоянии

для аморфной мишени составляет 120°C .

Приращение температуры в кристаллической мишени, измеренное контактными датчиками, оказалось меньше чем для аморфной (см. рис. 5) при любой частоте следования электронных сгустков. Предполагая подобие пространственных распределений поглощённой энергии в аморфном и кристаллическом поглотителе, можно утверждать, что максимальная температура в кристаллической мишени при облучении электронным пучком инжекторного ускорителя КЕКВ не превысит 120°C и, следовательно, останется ниже температуры Дебая.

Условие захвата в ускорение позитронов, выходящих из мишени, для согласующего устройства e^+ -источника КЕКВ обычно записывают в виде ограничений на импульс p и его поперечную составляющую p_t :

$$8.2 \frac{\text{МэВ}}{c} < p < 11.6 \frac{\text{МэВ}}{c} \quad \text{и} \quad p_t < 2.4 \frac{\text{МэВ}}{c}, \quad (2)$$

Отметим, что это выражение определяет некоторый доверительный интервал для импульсов выходящих позитронов и неприменимо в качестве строгого неравенства для селекции позитронов в программах моделирования. Вместо него предлагается использовать условие

$$7.8 \frac{\text{МэВ}}{c} < p < 12.0 \frac{\text{МэВ}}{c} \quad \text{и} \quad p_t < 2.8 \frac{\text{МэВ}}{c}, \quad (3)$$

С этим условием программа моделирования переноса в аморфной мишени, построенная на GEANT4, даёт выход позитронов и нормализованный эминтанс, согласующиеся с данными системы мониторинга пучка в пределах экспериментальной погрешности. В дальнейшем условие предполагается использовать при тестировании программ моделирования переноса излучения с учётом когерентных эффектов в кристаллах.

В третьей главе обсуждается интенсивность событий в подсистемах детектора SiD, обусловленных фоном из секций доставки пучка к месту встречи

(BDS) в проекте ILC. Представляемые результаты получены для пучка ILC с параметрами, приведёнными в работе [6]. Предполагалась, что для заданной степени коллимации интенсивность потерь составляет 0.1% частиц/сгусток. Потери моделировались с помощью программы STRUCT [7]. Программа формировала базу данных фазовых координат частиц, вышедших за пределы апертуры.

Модель BDS, реализованная в MARS15 [8], включает в себя достаточно подробное трёхмерное описание элементов за пределами апертуры и внутри неё. Для автоматической расстановки и ориентации в пространстве элементов линии доставки применялся модуль MMBLB [A15]. Предварительные расчёты, выполненные с использованием MUCARLO и MARS15 [9], показали, что источник мюонной компоненты фона от BDS сконцентрирован в коллимационном регионе на расстоянии 800 – 1500 м от точки встречи (IP). Для защиты детектора от мюонов в туннеле предложено установить два магнитных спойлера длиной 9 и 18 м на расстоянии 648 и 331 м от IP.

На рис. 6 представлено поперечное и продольное сечение участка туннеля со спойлером, полученное средствами визуализации геометрии в MARS15. Каждый мюонный спойлер состоит из двух стальных частей с магнитными обмотками, которые создают магнитное поле противоположной полярности, так, что внутри канала пучка, поля компенсируют друг друга. Стрелки на рисунке указывают направление силовых линий. Зазор между двумя частями спойлера соответствует размеру канала пучка. Выемка для обмотки в центре каждой части имеет ширину 10 см и высоту 1 м. Поле внутри ~ 0.8 Т. В данной работе выемка заполнялась воздухом. В поперечном сечении спойлеры входят внутрь стен туннеля/грунта на 60 см для предотвращения обратного рассеяния мюонов. Порог прослеживания адронов в расчётах, выполненных по MARS15, составлял 1 МэВ. Электроны, позитроны и фотоны прослеживались до энергий 0.1 МэВ. Траектории частиц, дошедшие до де-

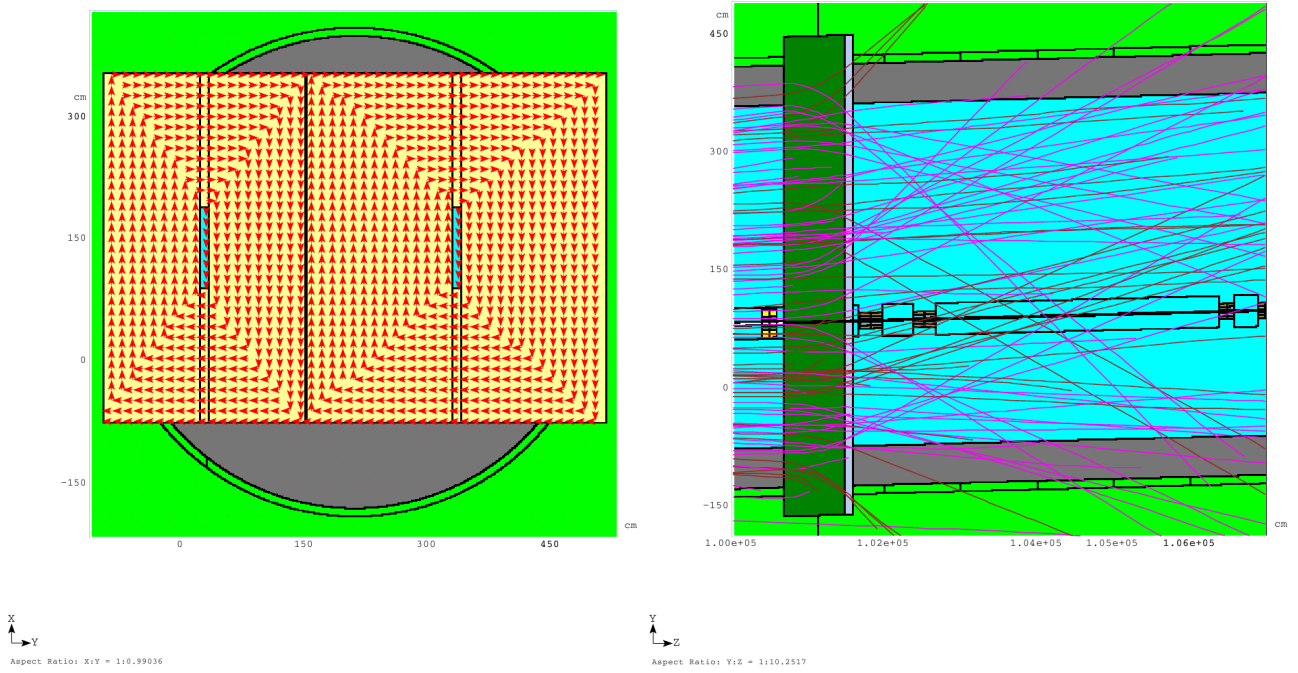


Рис. 6. Модель спойлера в MARS15: поперечное сечение участка туннеля со спойлером (слева) и траектории мюонов при прохождении через спойлер с магнитным полем (справа)

тектора продолжались в нем с помощью программы SLIC [10], построенной на GEANT4 и разработанной в SLAC специально для моделирования отклика подсистем SiD. Для передачи фазовых координат частиц из MARS15 в SLIC нами был реализован соответствующий генератор событий. SLIC сохраняет информацию о событиях в детекторах в файлах специального формата - LCIO. Информация из этих файлов анализировалась с помощью специально разработанных программ.

Полученная нами частота событий, вызванных фоном из BDS (со спойлерами в туннеле и без них), в трекерных детекторах, сравнивалась с аналогичной характеристикой фона от места встречи, полученной в [11]. Кроме того, в работе оценивалась частота полезных событий от места встречи пучков, которые моделировались с использованием генератора событий PYTHIA. Результаты сравнения приведены на рис. 7.

Из рисунка видно, что при отсутствии спойлеров в туннеле, в мюонной

системе основным источником событий, вызывающих отклик детектора, будут частицы приходящие из туннеля. Анализ состава излучения показал, что подавляющее число этих частиц - мюоны, рождённые во взаимодействиях га-ло пучка с коллимационной системой BDS. Частота полезных событий от e^+e^- взаимодействий в точке встреч значительно ниже уровня фона из BDS. В адронных калориметрах вклад фона и сигнал от точки встречи оказались почти одинаковыми. В остальных детекторах преобладают события от взаимодействия встречных пучков.

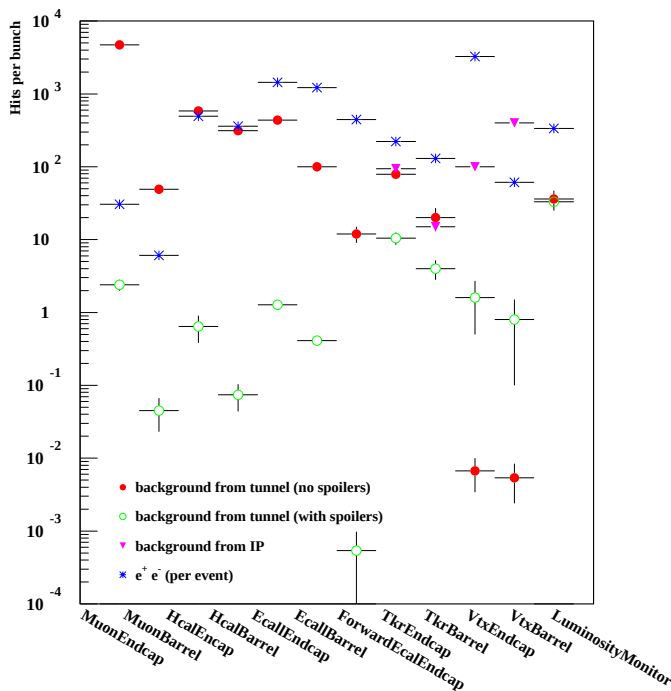
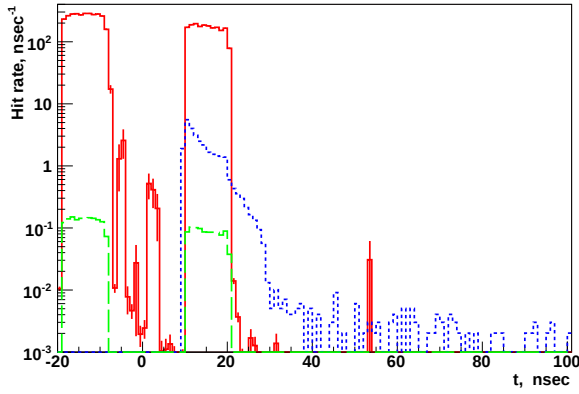


Рис. 7. Интенсивность событий в подсистемах детектора SiD. Фон из туннеля создаётся частицами, приходящими из позитронного туннеля.

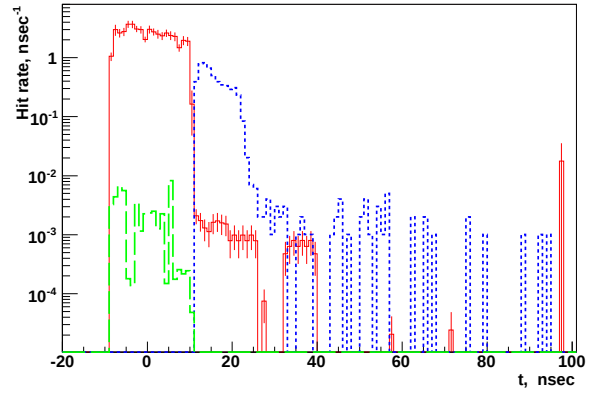
для Vertex-детекторов, в варианте со спойлерами и без них, фон от точки встречи пучков остаётся доминирующим над фоном из BDS.

Найденные интенсивности событий сравнивались с допустимыми уровня-

Установка спойлеров в туннеле приведёт к тому, что в мюонной системе частота событий, обусловленных фоном из BDS, уменьшится более чем на три порядка и вклад событий от места встречи окажется доминирующим во всех детекторных системах, кроме Vertex детектора (см. Рис. 7). В нём при наличии спойлеров наблюдается возрастание событий, обусловленных фоном из BDS. Установлено, что это увеличение объясняется бедной статистикой и большими флуктуациями весов частиц вблизи оси пучка при моделировании переноса в MARS15. Заметим, к тому же, что



а)



б)

Рис. 8. Частота событий в калориметрах Muon Endcap и Muon Barrel. Непрерывная линия — фон со стороны позитронного туннеля без спойлеров; прерывистая линия — то же, со спойлерами; точечная линия — события от встречи пучков.

ми фона для различных подсистем, приведёнными в работах [12–14]. Установлено, что для трекерной системы уровень загрузки фоном ниже допустимых пределов даже без использования спойлеров. Для мюонных калориметров, однако, в варианте без спойлеров, уровень фона оказался в 4 раза выше допустимого.

Эффективным средством увеличения отношения сигнал–шум оказалось ограничение временного окна, в течение которого детектор регистрирует информацию от места встречи. На Рис. 8 приведён пример временного распределения событий в мюонной калориметрической системе. За начало отсчёта принят момент встречи сгустков. Из рисунка видно, что если детектор будет регистрировать частицы начиная с момента встречи и время регистрации частиц не превысит интервал между сгустками (307 нс), то часть фоновых событий останется за пределами временного окна. Подобные распределения были получены нами для всех детекторных систем и опубликованы в предварительном отчёте [A2]. Показано, что для тех детекторов, где доминирует мюонный фон от BDS, ограничение на время измерения приблизительно вдвое сокраща-

ет интенсивность фоновых событий. Временное окно может быть достаточно эффективным средством подавления фона в баррельных (цилиндрических) системах (Muon Barrel, Hcal Barrel, Ecal Barrel)

В Заключение Представлены результаты и выводы, полученные в ходе выполнения поставленных задач:

- Выход позитронов из кристаллической вольфрамовой мишени превышает выход из аморфной мишени равной толщины того же материала. Максимальное превышение выхода позитронов из кристаллической вольфрамовой мишени с ориентацией оси $\langle 111 \rangle$ вдоль оси пучка по сравнению вольфрамовой мишенью оптимальной толщины (14мм) составляет 25%, при меньшей толщине кристалла (10.5 мм).
- Кристаллическая мишень может длительно эксплуатироваться в позитронном источнике КЕКВ не теряя свойств вследствие нагрева электронным пучком. Максимальная температура в ней не превысит температуру Дебая для вольфрама. Максимальная температура внутри мишени будет достигаться за время ~ 10 с после начала облучения.
- Для калориметрических систем фон, вызванный взаимодействием га-ло пучка с коллиматорами, оказывается доминирующим над другими составляющими фоновой засветки. Без дополнительных мер уровень фона в мюонных калориметрах, например, оказывается в 4 раза больше допустимого уровня. Установка спойлеров уменьшит фон в 10^4 раз и сделает его много ниже допустимого уровня. Недостаток подхода – высокая стоимость реализации.
- Для трекерной системы и монитора светимости в детекторе SID основной составляющей фона, является фон от места встречи пучков. Уровень фона от ускорителя и места встречи пучков, оказывается в рамках

допустимых пределов без применения магнитных спойлеров и временной дискриминации событий.

- Эффективным средством снижения фона в калориметрической системе оказалась временная дискриминация фоновых событий. Если время сбора детектором информации от пересечения сгустков встречных пучков, начавшись с момента пересечения не превысит периода их следования, то уровень фона от ускорителя окажется в рамках допустимых пределов, без установки многометровых магнитных спойлеров в туннеле BDS.

Список публикаций

- A1. Gogolev A. S., Potylitsyn A. P., Taratin A. M., Tropin I. S. On-line control of crystal deflector quality // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms. 2008. Vol. 266, no. 17. Pp. 3876 – 3880. Radiation from Relativistic Electrons in Periodic Structures - RREPS'07.
- A2. Mokhov N. V., Striganov S. I., Tropin I. S. et al. Machine-Related Backgrounds in the SiD Detector at ILC // JINST. 2006. Vol. 1. P. 12003.
- A3. Potylitsyn A. P., Tropin I. S., Suwada T. et al. First application of a tungsten single-crystal positron source at the KEK B factory // Physical Review Special Topics Accelerators and Beams. 2007.— Jul. Vol. 10, no. 7. Pp. 073501—+.
- A4. Potylitsyn A. P., Tropin I. S., Suwada T. et al. Experimental study of positron production from a 2.55-mm-thick silicon crystal target using 8-GeV

- electron beams with high-bunch charges // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B. 2006. — Nov. Vol. 252. Pp. 142–147.
- A5. Kolchuzhkin A., Potylitsyn A., Bogdanov A., Tropin I. On multiphoton bremsstrahlung // Physics Letters A. 1999. — Dec. Vol. 264. Pp. 202–207.
- A6. N. A. Y., Artemov K. P., Afanasiev K. V. et al. The powerful nanosecond duration electron beam effect on the crystalline tungsten target // Charged and Neutral Particles Channeling Phenomena: Channeling 2008, Proc. of the 51st Workshop of the INFN ELOISATRON Project / Ed. by L. P. Sultan B.Dabagov. The science and culture series – physics. World Scientific Publishing, 2010. — Mar. Pp. 502–510.
- A7. Kostin M. A., Mokhov N. V., Striganov S. I., Tropin I. S. Simulation Aspects of Beam Collimation and Their Remedies in the MARS14 Code // AIP Conf. Proc. 693: Beam-Halo Dynamics, Diagnostics, and Collimation / Ed. by J. Wei, W. Fischer, P. Manning. 2003. — Dec. Pp. 196–199.
- A8. Kolchuzhkin A. M., Tropin I. S. Transition effects in electron-photon showers // RIKEN International Workshop on Electromagnetic and Nuclear Cascade Phenomena in High and Extremely High Energies. Tokyo, Japan: 1993. Pp. 301–308.
- A9. Potylitsyn A. P., Tropin I. S. Coherent bremsstrahlung in thick crystals radiation losses and photon multiplicity // International Conference on Charged and Neutral Particles Channeling Phenomena II / Ed. by S. B. Dabagov. Vol. 6634. SPIE, 2007. P. 663404.
- A10. Потылицын А. П., Тропин И. С., Сато М. и др. Потери энергии и эффекты нагревания в кристаллических позитронных конверторах // XIX Международный семинар по ускорителям заряженных частиц - Алуш-

та, Крым (Украина), 12-18 сентября 2005. Харьков: ННЦ ХФТИ, 2005. С. 65(23898716).

- A11. Potylitsyn A. P., Tropin I., Suwada T. et al. Experimental study of positron production from a 2.55-mm-thick silicon crystal target using 8-GeV electron beams with high-bunch charges. Tsukuba, 2006. 12 pp. (Preprint/KEK; 2005-62, Presented at the International Workshop on Relativistic Channeling and Coherent Phenomena in Strong Fields (RC2005), Hotel Villa Campitelli, Frascati, Rome, Italy, July 25-28, 2005).
- A12. Potylitsyn A. P., Tropin I., Suwada T. et al. Experimental Study of Positron Production from Monocrystalline Targets at the KEKB Injector Linac. Tsukuba, 2006. 5 pp. (Preprint/KEK; 2006-030, Presented at the 2006 International Linear Accelerator Conference (LINAC'06), Knoxville Convention Center, Tennessee, U.S.A., August 21-25, 2006).
- A13. Potylitsyn A. P., Tropin I., Suwada T. et al. Enhancement of the Positron Intensity by a Tungsten Single-Crystal Target at the KEKB Injector Linac. Tsukuba, 2007. 3 pp. (Preprint/KEK; 2007-21, Presented at the 22th Particle Accelerator Conference (PAC'07), Albuquerque, U.S.A., June 25-29, 2007).
- A14. Potylitsyn A. P., Tropin I., Suwada T. et al. New positron source with tungsten single-crystal at the KEKB injector linac. Tsukuba, 2007. 15 pp. (Preprint/KEK; 2007-65, Talk at the VII International Symposium on Radiation from Relativistic Electrons in Periodic Structures (RREPS-07), the Czech Technical University, Prague, the Czech Republic, Sep. 24-28, 2007.).
- A15. Kostin M. A., Krivosheev O. E., Mokhov N. V., Tropin I. S. An Improved MAD-MARS beam line builder: User's guide. 2003. P. 22. FERMIL-AB-FN-0738.

Цитированная литература

1. R. Chehab R., Couchot F., Nyaiesh A. R. et al. Study of a positron source generated by photons from ultrarelativistic channeled particles // Proceedings of the 1989 Particle Accelerator Conference. Vol. 1. Chicago, IL, USA: 1989. — Mar. Pp. 283–285.
2. Geant4 Collaboration, Agostinelli S., Allison J. et al. Geant4 – a simulation toolkit // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. 2003. — Jul. Vol. 506. Pp. 250–303.
3. Cooperman G., Anchordoqui L., Grinberg V. et al. Scalable Parallel Implementation of Geant4 Using Commodity Hardware and Task Oriented Parallel C // ArXiv High Energy Physics - Phenomenology e-prints. 2000. — Jan. hep-ph/0001144.
4. Allison J., Amako K., Apostolakis J. et al. Geant4 developments and applications // IEEE Trans. Nucl. Sci. 2006. Vol. 53. P. 270.
5. Cooperman G. TOP-C: A Task-Oriented Parallel C Interface // 5th International Symposium on High Performance Distrib. Comput.(HPDC-5). IEEE Press, 1996. Pp. 141–150.
6. Walker N., Phinney N., Yokoya K. GG1 summary // 2005 International Linear Collider Physics and Detector Workshop and Second ILC Accelerator Workshop / Ed. by N. A. Graf. Snowmass, Colorado, USA: SLAC, 2005. — Aug.
7. Drozhdin A. I., Mokhov N. V. The STRUCT Program: Users's Reference Manual. Fermilab, Batavia, IL, USA, 1999. — Sep.

8. Mokhov N. V., Gudima K. K., James C. C. et al. Recent enhancements to the MARS15 code // Radiat. Prot. Dosim. 2005. Vol. 116. Pp. 99—103.
9. Mokhov N. V. Backgrounds in ILC Detectors // 2005 International Linear Collider Physics and Detector Workshop and Second ILC Accelerator Workshop / Ed. by N. A. Graf. Snowmass, Colorado, USA: SLAC, 2005. — Aug.
10. McCormic J. Full Detector Simulation using SLIC and LCDD // 2005 International Linear Collider Physics and Detector Workshop and Second ILC Accelerator Workshop / Ed. by N. A. Graf. Snowmass, Colorado, USA: SLAC, 2005. — Aug.
11. Maruyama T. Background comparison between 20 mrad and 2 mrad crossings // ILC BDIR/ELAN Workshop / Royal Holloway. London, UK: 2005. — Jun.
12. Kozanecki W. LC Background Requirements // Beam Halo Dynamics, Diagnostics, and Collimation. 29th ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop on Beam Halo Dynamics, Diagnostics, and Collimation HALO'03. Workshop on Beam-Beam Interactions Beam-Beam'03. Montauk, New York, USA: 2003. — May.
13. Lemrani R., Robinson M., Kudryavtsev V. A. et al. Low energy neutron propagation in MCNPX and GEANT4 // Nucl. Instrum. Meth. A. 2006. Vol. 560. Pp. 454—459.
14. Abazov V. M., Abbott B., Abolins M. et al. The upgraded DO detector // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 2006. — Sep. Vol. 565. Pp. 463—537.