

На правах рукописи

Брандин Андрей Владимирович



**УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫЕ ЛАЗЕРНЫЕ КАЛИБРОВОЧНЫЕ
СИСТЕМЫ В ФИЗИКЕ ЧАСТИЦ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ**

01.04.01 – Приборы и методы экспериментальной физики

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Москва 2006

Работа выполнена в Государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Московский инженерно-физический институт (государственный университет)».

Научный руководитель: доктор физико-математических наук, профессор
Стриханов Михаил Николаевич.

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук, профессор
Захаров Валерий Павлович;
кандидат физико-математических наук
Сандуковский Вячеслав Григорьевич.

Ведущая организация: Самарский филиал Физического института
им. П.Н. Лебедева

Защита состоится 2 июня 2006 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета Д 212.215.01 при государственном образовательном учреждении высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П.Королева» (СГАУ) по адресу: 443086 Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке СГАУ.

Автореферат разослан 28 апреля 2006 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

кандидат технических наук, профессор



Шахов В.Г.

2006А
10308

Общая характеристика работы.

Актуальность проблемы.

Современная экспериментальная физика элементарных частиц базируется на крупных установках, состоящих из большого числа трековых, координатно-чувствительных и спектрометрических детекторов различного типа и содержащих десятки и сотни тысяч каналов съема, обработки и анализа информации. В создании и эксплуатации подобных установок исключительно важную роль играют вопросы надежности, калибровки и периодического контроля работы детекторов. При этом возникает ряд задач, для решения которых затруднительно или вообще невозможно использовать радиоактивные источники, частицы космического фона или собственно пучок ускорителя. Так, в широко применяемых в настоящее время больших время – проекционных камерах практически невозможно обеспечить идеальную однородность электрического и магнитного поля по всему чувствительному объему детектора. Это приводит к неоднородности скорости дрейфа электронов в различных частях детектора и, соответственно, к искажению треков частиц. В действующих и планируемых в настоящее время экспериментах с большой множественностью вторичных частиц возникают проблемы с двухчастичным разрешением и с искажениями электрического поля внутри камеры из-за накопления объемного ионного заряда в чувствительной области.

Поэтому в детекторах больших размеров необходимы «реперные» треки, лучшими из которых были бы треки частиц с бесконечно большим импульсом, имеющие заранее известное с высокой точностью положение.

На сегодняшний день наибольшие успехи в решении задачи прецизионной калибровки больших детекторов заряженных частиц направленным электромагнитным излучением достигнуты при использовании близкого ультрафиолетового (и, отчасти, рентгеновского) диапазонов электромагнитного излучения.

Основа лазерных калибровочных систем была заложена в начале 80-х годов. Такие системы с помощью двухфотонной ионизации компонент рабочего газа детектора излучением импульсных ультрафиолетовых лазеров формируют в объеме детектора лазерные треки, аналогичные трекам заряженных частиц. При этом, меняя мощность лазерного излучения, можно в широком диапазоне менять плотность электронов вдоль лазерного трека, то есть имитировать треки частиц с любой ионизирующей способностью. Положение лазерного луча в пространстве и во времени могут быть измерены с хорошей точностью, а сами лазерные треки не испытывают многократного рассеяния и нечувствительны к магнитным полям. Поэтому лазерные системы калибровки обеспечивают высокую точность пространственной, энергетической и временной калибровки.

Импульсные ультрафиолетовые лазеры могут быть с успехом использованы не только для детекторов объемом $\sim 10 \text{ м}^3$, но и в детекторах с

объемом ($\sim 10^{-4}$ м³), позволяя увеличить точность и воспроизводимость результатов, а также значительно упростить процедуру регистрации и обработки информации. Для исследования корреляций физико-химических параметров веществ, в частности, параметров захвата свободных электронов, с канцерогенной активностью химических соединений возможно создание лабораторной установки на основе ионизационной камеры (ИК) с лазерной фотоионизацией катода.

Цели и задачи исследования.

Целью диссертационной работы является исследование основных принципов применения ультрафиолетовых лазеров, как в физике частиц высоких энергий, так и в детекторах ионизирующих излучений, используемых в лабораторных, в частности, физико-биологических исследованиях.

В соответствии с поставленной целью определены задачи исследования:

1. Исследование и развитие основных принципов построения лазерных калибровочных систем больших газовых координатно-чувствительных детекторов элементарных частиц.

2. Разработка основных принципов контроля и управления лазерных калибровочных систем газовых координатно-чувствительных детекторов объемом ~ 10 м³ с высокой точностью (погрешность позиционирования ~ 200 мкм).

3. Разработка системы регистрации и обработки информации с установки, предназначенной для исследования корреляций физических и биологических (канцерогенных) характеристик химических соединений.

4. Проведение экспериментальных исследований фотоэмиссии электронов под действием излучения лазеров на молекулярном азоте (N_2 -лазер).

Научная новизна.

Впервые разработана и реализована высокоточная многолучевая лазерная система калибровки основной и малых время-проеccionных камер спектрометра STAR. Показано, что ее использование позволяет измерять скорость дрейфа электронов в газовой смеси детектора и проводить коррекцию искажений регистрируемых треков заряженных частиц, связанных с искажениями электрического поля внутри объема детектора.

Впервые разработано уникальное оборудование для программно-аппаратного комплекса лазерной системы калибровки детектора объемом ~ 10 м³ и теоретически обоснованы принципы его работы и управления.

Разработан программно-аппаратный комплекс для оригинальной установки на базе ИК с лазерной фотоионизацией катода, предназначенной для исследования корреляций между физическими и медико-биологическими характеристиками веществ, который способен значительно ускорить и удешевить детектирование потенциальной канцерогенности.

Практическая значимость.

Разработанные теоретические подходы, методы и принципы реализованы

в программно-аппаратном комплексе высокоточной лазерной системы калибровки детекторов STAR на коллайдере релятивистских тяжелых ионов RHIC в Брукхэвенской Национальной лаборатории (БНЛ, США), в установке для исследования физико-биологических корреляций (МИФИ, Россия), а также будут применены в спектрометре ALICE (ЦЕРН, Швейцария).

Лазерная калибровочная система спектрометра STAR успешно функционирует в составе эксперимента с 2000 года. Она повысила достоверность восстановления треков элементарных частиц и снизила вероятность ошибок идентификации частиц при исследованиях фундаментальных свойств материи.

Результаты исследования по разработке физического экспресс-метода детектирования канцерогенности химических веществ на базе ионизационной камеры позволят создать службу канцерогенной безопасности, аналогичной службам радиационной безопасности, существующей в развитых странах.

На защиту выносятся:

1. Развитие принципов построения высокоточных ультрафиолетовых лазерных калибровочных систем детекторов заряженных частиц в физике частиц высоких энергий.
2. Принципы и методики контроля и управления лазерных калибровочных систем координатно-чувствительных детекторов объемом $\sim 10 \text{ м}^3$ с высокой точностью ($\sim 200 \text{ мкм}$).
3. Методика и алгоритмы определения координат положения лазерных лучей в объеме детектора с использованием корреляционно-экстремальных методов.
4. Методы регистрации и обработки информации в ИК с ультрафиолетовой фотоионизацией катода для детектирования канцерогенной опасности химических соединений.

Апробация работы.

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях: IX Международная конференция по проточным камерам (Вена, Австрия, 2001); II Всероссийская конференция «Университеты России - фундаментальные исследования. Физика элементарных частиц и атомного ядра», Москва (2001 г.); III Всероссийская конференция «Университеты России - фундаментальные исследования. Физика элементарных частиц и атомного ядра», Москва (2002 г.); Научная Сессия МИФИ-2003.

Публикации.

Результаты проведенных исследований изложены в 9 публикациях.

Личный вклад автора.

Цель и задачи исследования реализованы автором самостоятельно. Экспериментальные исследования проведены в соавторстве. Автор принимал непосредственное участие при монтаже и настройке лазерной калибровочной

системы STAR, при проведении физических экспериментов на спектрометре STAR, при разработке экспериментальной установки для исследования корреляций физических и биологических характеристик химических соединений.

Структура и объем диссертации.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 149 наименований. Общий объем диссертационной работы составляет 127 страниц, содержит 52 рисунка и 10 таблиц.

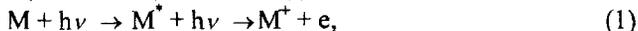
Содержание работы.

Во введении обосновывается актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и основные задачи, сформулированы основные положения, выносимые на защиту, описана структура диссертационной работы.

В первой главе рассматриваются основные принципы построения лазерных калибровочных систем детекторов заряженных частиц.

В §1.1. рассматриваются физические основы двухфотонной ионизации органических молекул, присутствующих в газовой смеси детектора.

Двухфотонная реакция ионизации имеет вид



Кинетика двухфотонной ионизации в газе детектора с примесью молекул M описывается уравнениями:

$$dn_i/dt = n_{ex}\sigma_i^*F \quad (2)$$

$$dn_{ex}/dt = (n_0 - n_{ex} - n_i)\sigma_e F - n_e\sigma_i^*F - n_{ex}/\tau_{ex}, \quad (3)$$

где n_0 – концентрация ионизируемых молекул примеси, n_{ex} – концентрация возбужденных молекул M^* , $n_i = n_e$, – соответственно концентрация молекулярных ионов и свободных электронов, τ_{ex} – излучательное или безизлучательное время жизни возбужденного состояния M^* , σ_e – сечение возбуждения молекулы M, σ_i^* – сечение ионизации молекулы M из возбужденного состояния, F – плотность интенсивности лазерного излучения.

При лазерной калибровке детекторов заряженных частиц, $n_i \ll n_0$, и

$$n_{ex} = n_0 F \frac{\sigma_e}{(\sigma_e + \sigma_i^*)F + 1/\tau_{ex}} \left[1 - \exp\left\{-\left[\sigma_e + \sigma_i^*\right]F + 1/\tau_{ex}\right\}T\right] \quad (4)$$

$$n_e = n_i - n_0 F^2 \frac{\sigma_e \sigma_i^*}{(\sigma_e + \sigma_i^*)F + 1/\tau_{ex}} \left[T - \frac{(1 - \exp\left\{-\left[\left(\sigma_e + \sigma_i^*\right)F + 1/\tau_{ex} + 1/T\right]T\right\})}{(\sigma_e + \sigma_i^*)F + 1/\tau_{ex}} \right], \quad (5)$$

где T – длительность лазерного импульса.

Линейная плотность электронов на лазерном треке описывается выражением:

$$n_{el} \approx k_S k_T n_0 \Sigma F^2 ST, \quad (6)$$

где k_S , $k_T \sim 1$ – коэффициенты, учитывающие геометрические и временные характеристики лазерного луча, то есть изменения интенсивности лазерного излучения как в поперечном сечении лазерного луча, так и во время лазерного

импульса, Σ - сечение двухфотонной ионизации, S – площадь поперечного сечения лазерного луча.

В §1.2. рассматриваются технические основы применения импульсных ультрафиолетовых лазеров для калибровочных систем.

Проведено сравнение технических характеристик и режимов работы газовых лазеров на молекулярном азоте и твердотельных Nd:YAG-лазеров.

В §1.3. рассмотрены методы формирования тонких лазерных треков, имитирующих в объеме детектора треки быстрых заряженных частиц с бесконечно большим импульсом.

В основу лазерной калибровочной системы основной время-проекционной камеры (Time Projection Chamber (TPC)) и малых время-проекционных камер (Forward Time Projection Chamber (FTPC)) спектрометра STAR, а также в лазерную калибровочную систему TPC спектрометра ALICE (ЦЕРН) положен метод разделения первичного лазерного луча диаметром ~ 30 мм на вторичные лучи с помощью цилиндрических зеркал размером 1 мм. Эти зеркала представляют собой стержень со срезанным под определенным углом концом, на который нанесено отражающее покрытие (рис. 1 А). Дальнейшим развитием этого метода явилась многолучевая делительная головка, основным элементом которой является стеклянная пластина с фасками под различными углами, на которые нанесено отражающее покрытие (рис. 1 Б).

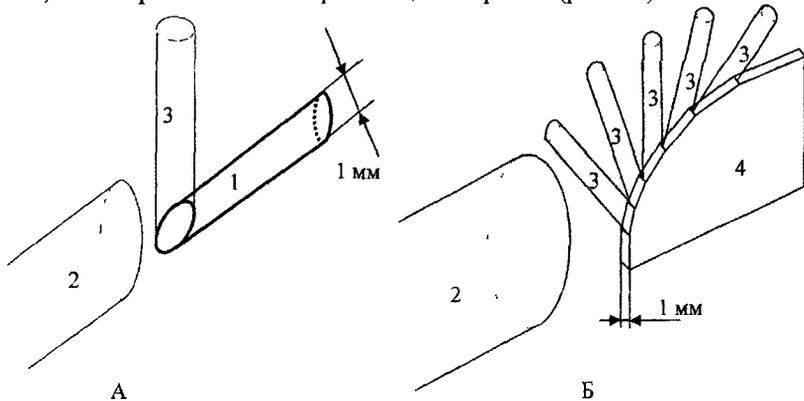


Рис.1. Формирование тонких лазерных лучей с помощью цилиндрических (А) и пластинчатых зеркал (Б). 1 – цилиндрическое зеркало, 2 – первичный лазерный луч, 3 – отраженный лазерный луч, 4 – пластинчатое зеркало.

В §1.4. рассмотрен геометрический профиль тонкого лазерного луча.

Для создания большого количества тонких лазерных лучей исходный луч расширяется с помощью оптического телескопа. Телескоп настраивается так, чтобы выходящий из него луч фокусировался в точке, отстоящей от него на расстояние $f = (F_1 + z') \sim 1$ м, где F_1 - фокусное расстояние линзы, z' - расстояние от перетяжки сфокусированного луча до фокуса. Если вблизи

объектива телескопа размещено зеркало диаметром d , то диаметр D отраженного луча на расстоянии L от зеркала описывается формулой:

$$D^2 \approx [(L - f)d/f]^2 + [4\lambda L/\pi d]^2, \quad (7)$$

и дифракционная расходимость отраженного луча частично компенсируется фокусировкой. Тогда при фокусировке в дальней зоне ($f \sim 1$ м) с помощью зеркал диаметром $d = 1-2$ мм можно формировать лазерные лучи длиной свыше 2 м с эффективным диаметром менее 1 мм. Фокусировка в ближней зоне ($f \sim 10$ см) даст тонкие короткие треки с эффективным диаметром 100-200 мкм.

Минимальный диаметр (перетяжка) отраженного луча $D_m = d/[(\pi d^2 / 4\lambda f + 1)^{1/2}]$ расположен на расстоянии $L_m = f/[1 + (4\lambda f/\pi d^2)^2] < f$, что позволяет провести расчет параметров лазерных систем.

В §1.5. рассматривается использование внешнего фотоэффекта в детекторах заряженных частиц.

Во второй главе описана лазерная калибровочная система ТРС спектрометра STAR.

Лазерная калибровочная система предназначена для измерения скорости дрейфа электронов и коррекции искажений треков заряженных частиц в детекторе, вызванных $E \times B$ эффектом и накоплением пространственного заряда из-за высокой множественности в Au-Au столкновениях.

В §2.1. рассматривается назначение и основные характеристики ТРС спектрометра STAR.

В §2.2. рассматривается структурная схема и оптические элементы лазерной калибровочной системы ТРС (рис.2).

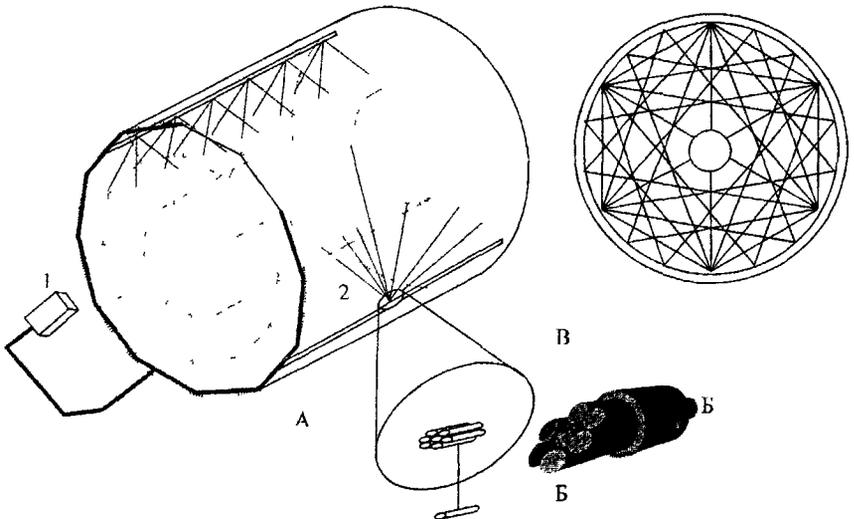


Рис. 2. Принципиальная схема лазерной калибровочной системы ТРС.

Лазерный луч от Nd:YAG-лазера (1) с $\lambda=266$ нм расширяется оптическим телескопом до диаметра ~ 30 мм и с помощью двух зеркал направляется к ТРС (2) через отверстие в магните. Он попадает на зеркало с коэффициентом отражения 100%, поворачивающее луч параллельно плоскости ТРС по большей окружности. Далее луч делится на две части, один из которых направляется по часовой стрелке, второй – против часовой стрелки по внешней стороне ТРС. Поворот лучей по внешней стороне ТРС осуществляется дисперсионными призмами. На пути лучей над специальными входными окнами расположены полупрозрачные зеркала, которые делят лазерный луч на 6 лучей приблизительно равной интенсивности, и направляют их внутрь ТРС (рис. 2 А). Эти лучи попадают на связки маленьких зеркал (рис. 2 Б), формирующих в объеме детектора «вер» лазерных треков (рис. 2 В).

В §2.3. рассматривается назначение и основные характеристики FTPC спектрометра STAR (рис. 3).

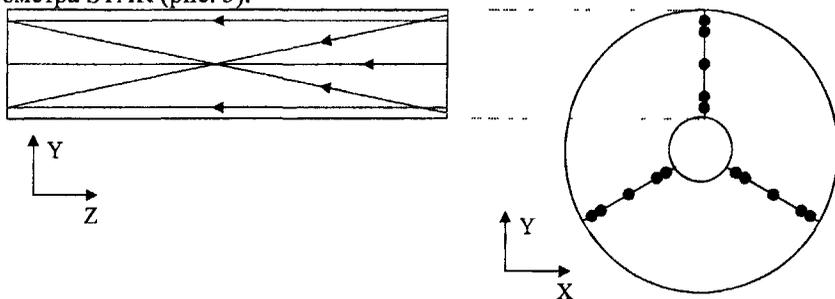


Рис. 3. Принципиальная схема лазерной калибровочной системы FTPC.

Конструктивно лазерные калибровочные системы детекторов FTPC и ТРС аналогичны и объединены в одну систему. Широкий лазерный луч с помощью подвижного зеркала, расположенного на внешней стороне спектрометра STAR, направляется либо в ТРС, либо в FTPC.

В третьей главе рассматриваются методы контроля и управления положением лазерных лучей в объеме детектора ТРС.

В §3.1. формулируются принципы контроля и управления лазерными калибровочными системами. Положение лазерного луча контролируется видеокамерами, перед объективами которых установлены сцинтилляционные экраны. Наблюдаемая камерами картина оцифровывается и поступает в компьютер для анализа. Для упрощения процедур контроля и юстировки в центре широкого лазерного луча с помощью непрозрачного шарика сформирована пятно Пуассона (рис. 4). В случае изменения положения пятна Пуассона, компьютер выдает сигналы на прецизионные микромоторы, меняющие положения подвижных юстировочных зеркал оптической системы до тех пор, пока пятно Пуассона не займет исходное положение на экране.

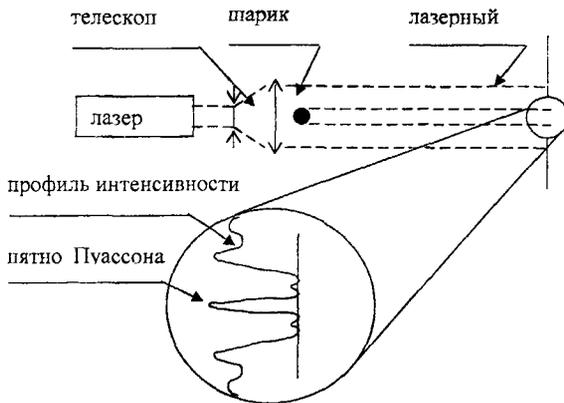


Рис. 4. Формирование пятна Пуассона в лазерном луче.

В §3.2. проводится анализ методов распознавания изображений и выбор метода, подходящего для решения поставленной задачи.

В §3.3. рассматривается развитие метода контроля положения лазерных лучей на основе корреляционно-экстремальной системы.

В связи с тем, что частота импульсного лазерного луча составляет 10 Гц, кадровая частота видеокамеры 30 Гц (система NTSC, принятая в США), длительность лазерного импульса ~3-8 нс, время послесвечения экранов ~1 мс, оцифрованное изображение лазерного луча неоднородно и имеет разрывы (рис. 5 А). Помимо этого, только каждый третий кадр с видеокамеры содержит изображение лазерного луча. Выделение информативных кадров проводится с помощью расчета дисперсии интенсивности точек изображения:

$$\sigma_p^2 = \frac{\sum_{i=1, k, j=1}^l (I(i, j) - \bar{I})^2}{k \cdot l}, \quad (8)$$

где $I(i, j)$ – интенсивность точки изображения с координатами i, j ; \bar{I} – средняя интенсивность изображения; k, l – число точек изображения по горизонтали и вертикали (320×240).

При превышении порогового значения дисперсии изображения считается, что изображение содержит информативный кадр.

Так как для стабилизации изображения необходимо, чтобы момент вспышки лазера был жестко привязан к сигналу синхронизации считывающей электроники ТРС и ГТРС, для обеспечения точности и воспроизводимости результатов восстановления лазерных треков автором разработан метод временной синхронизации видеокамер и лазеров, результаты использования которого представлены на рис. 5.

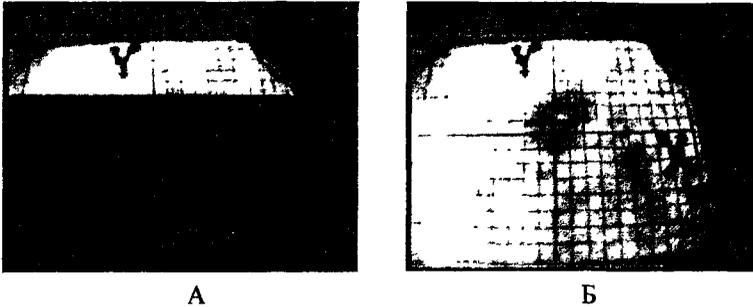


Рис. 5. Изображения кадров, полученные без (А) и с использованием (Б) синхронизации.

Для определения координат положения лазерного луча производится поиск максимума коэффициента корреляции, рассчитанного для двух изображений – эталонного и текущего, полученного с видеокамеры. Эталонное изображение запоминается после проведения первоначальной юстировки лазерного луча. Из изображения с видеокамеры (А) размером 320×240 точек вырезается эталонное изображение (В) с размерами от 50×50 до 100×100 точек (рис. 6), для которого запоминаются координаты его левого верхнего угла в исходном изображении. Частный коэффициент корреляции между двумя изображениями:

$$r(A, B) = \frac{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l (I_A(i, j) - \bar{I}_A)(I_B(i, j) - \bar{I}_B)}{\sqrt{s_A^2 \cdot s_B^2}}, \quad (9)$$

где $I_A(i, j), I_B(i, j)$ – интенсивность точки изображения А и В с координатами i, j ; \bar{I}_A, \bar{I}_B – средняя интенсивность точек изображения А и В; s_A^2, s_B^2 – дисперсия интенсивности точек для изображения А и В; k, l – число точек изображения по горизонтали и вертикали для эталонного изображения.

Для текущего изображения рассчитывается зависимость корреляционной функции (9) от смещения эталонного изображения относительно текущего изображения по вертикали и горизонтали (рис. 6). Путем поиска максимума коэффициента корреляции рассчитывается величина необходимой поправки положения юстировочных зеркал оптической системы.

С учетом того, что прямое применение этого метода требует большого количества вычислений, предложена методика, по которой проводятся расчеты для изображений с низким разрешением (с усредненными элементами 3×3 точки). Затем проводится точная локализация максимума коэффициента корреляции в пределах области 3×3 точек.

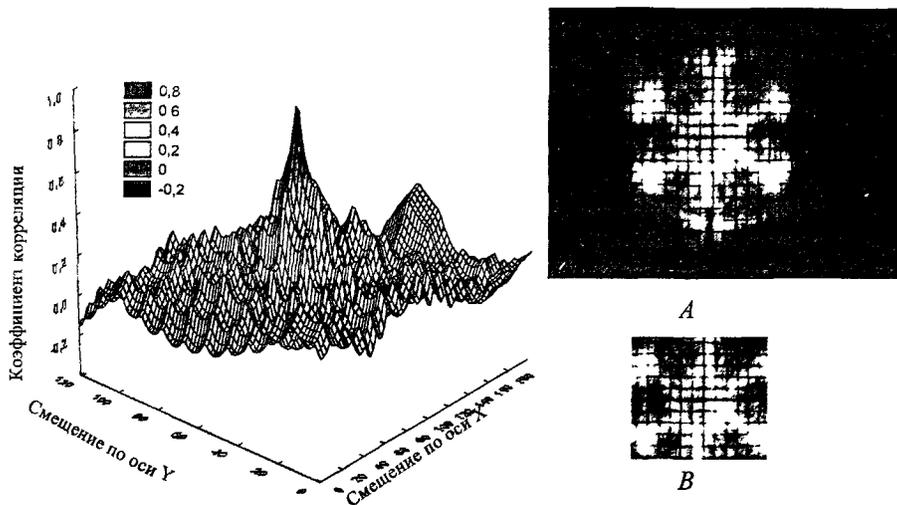
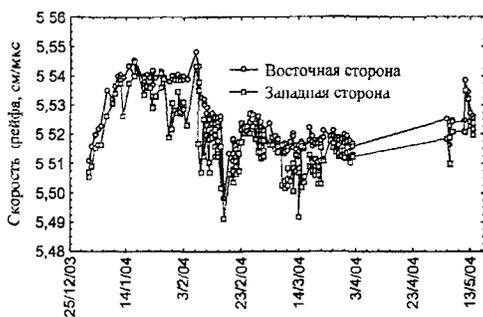


Рис. 6. Корреляционно-экстремальная функция для изображений А и В.

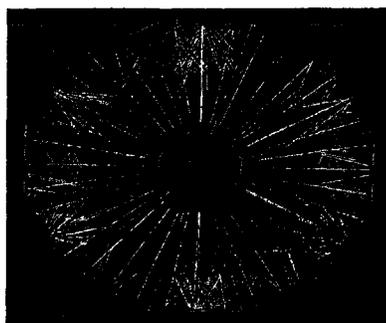
Для лазерной калибровочной системы разработан программно-аппаратный комплекс, который предназначен для синхронизации лазеров и считывающей электроники ТРС, синхронизации видеокамер, контроля и управления положением лазерных лучей в объеме ТРС.

В §3.4. рассматриваются экспериментальные результаты, полученные на лазерной калибровочной системе спектрометра STAR. Скорость дрейфа электронов в газе ТРС (90% Ag + 10%CH₄) и вид лазерных треков, восстановленных считывающей электроникой ТРС, представлены на рис. 7А, Б.



А

Дата



Б

Рис. 7. Экспериментальные результаты, полученные на лазерной калибровочной системе ТРС спектрометра STAR.

Калибровка ТРС и ФТРС проводится перед началом регистрации физических данных и повторяется каждые 2-3 часа. По результатам калибровки проводится коррекция восстановления треков элементарных частиц.

В четвертой главе рассматривается применение ультрафиолетовых лазеров в прикладных и методических исследованиях.

Ранние исследования показали, что физический тест на канцерогенность химических соединений может сводиться к измерению параметров захвата свободных электронов в нейтральной буферной среде, содержащей молекулы потенциальных канцерогенов. Для исследования корреляций канцерогенной опасности веществ, определенной в медико-биологических экспериментах, с константой захвата свободных электронов разработан программно-аппаратный комплекс на базе плоскопараллельной ИК с лазерной ионизацией катода.

В §4.1. рассматриваются методы создания свободных электронов в объеме ионизационной камеры и их регистрация.

Форма импульса тока в плоскопараллельной двухэлектродной ИК при учете дрейфа, захвата и рекомбинации электронов имеет вид

$$I(t) = I_0(1 - Wt/d) [\exp(-t/\tau)] / (1 + k_r t Q/V), \quad (10)$$

где I_0 - начальное значение тока, определяющееся суммарной энергией, поглощенной в веществе детектора в импульсе, τ - среднее время жизни электронов до захвата, V - объем чувствительной области ИК, k_r - коэффициент рекомбинации.

При создании электронов ионизирующим излучением с захватом электронов электроотрицательными молекулами конкурирует процесс рекомбинации, что снижает точность и достоверность измерений и повышает порог регистрации. Другой способ образования свободных электронов в ИК - фотоэмиссия электронов из катода под действием искрового разряда или импульсного ультрафиолетового лазера. Преимуществами применения импульсного ультрафиолетового лазера являются:

1) высокая интенсивность излучения, что обеспечивает большую величину эмитируемого заряда и снижает требования к характеристикам считывающей электроники.

2) короткая по сравнению со временем дрейфа электронов длительность импульса и высокая направленность излучения, что позволяет инициировать в ИК электронный заряд размером $< 100 \times 100 \times 100 \text{ мкм}^3$.

В этом случае регистрируемый сигнал описывается следующими соотношениями:

$$U_1(t \leq T) = QR [\exp(-t/\tau)] / T, \quad (11)$$

$$U_1(t > T) = 0$$

при $RC \ll T$ («токовый» сигнал) и

$$U_U(t \leq T) = Q/CT [RC\tau/(\tau - RC)] [\exp(-t/\tau) - \exp(-t/RC)], \quad (12)$$

$$U_U(t > T) = U_U(T) \exp(-t/RC)$$

при $RC \sim T$ («интегрированный» сигнал). R и C – соответственно сопротивление нагрузки и эквивалентная емкость внешней регистрирующей цепи, $T=d/W$ – время дрейфа электронов, τ – среднее время жизни электронов до захвата, Q – величина эмитированного заряда.

В §4.2. приводится описание разработанной установки для измерения времени жизни свободных электронов в смеси (буферный газ+молекулы электроотрицательного вещества), которая в настоящее время используется для изучения корреляций между параметрами захвата свободных электронов молекулами органических соединений и результатами медико-биологических тестов на канцерогенность. Установка (рис. 8) состоит из двухэлектродной плоскопараллельной ИК с лазерной фотоионизацией катода, газовой системы и системы сбора и обработки экспериментальных данных.

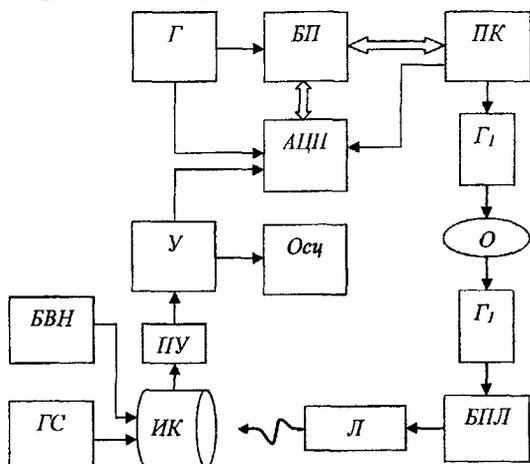


Рис. 8. Общая блок-схема установки. АЦП – аналогово-цифровой преобразователь; Г – внутренний генератор АЦП; БП – буферная память АЦП; ПК – персональный компьютер; Г₁, Г₂ – импульсные генераторы; Л – лазерный излучатель; БПЛ – блок питания лазерного излучателя, ИК – ионизационная камера; ПУ – предусилитель; У – основной усилитель; ОСЦ – осциллограф; ГС – газовая система; БВН – блок высокого напряжения; О – оптрон.

ИК (рис. 9) имеет внутренний объем $\approx 200 \text{ см}^3$ и рассчитана для работы при давлении до 10 атм. Внутри установлен сетчатый анод из нихромовой проволоки, с которого проводится регистрация сигнала и катод, на который фокусируется лазерный луч. Диаметр катода и анода составляет 60 мм, рабочий межэлектродный зазор 10 мм.

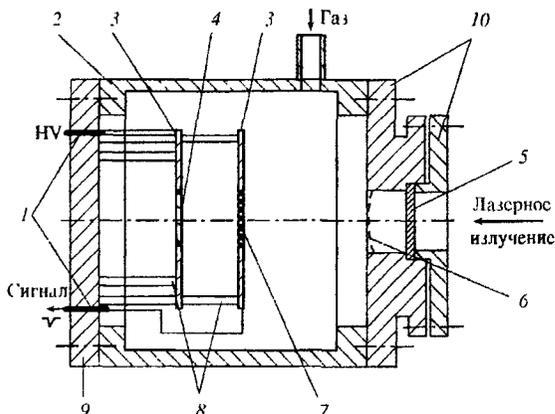


Рис. 9. Ионизационная камера. 1 – стеклянные изоляторы, 2 – корпус, 3 – электроды камеры, 4 – магниевая вставка, 5 – кварцевое окно, 6 – экранирующая сетка, 7 – сетчатый электрод, 8 – изоляторы, 9, 10 – фланцы.

Система сбора и обработки данных включает в себя широкополосный усилительный тракт, персональный компьютер, систему запуска лазера и амплитудно-цифровой преобразователь (АЦП) НВЛ45, имеющий два независимых канала амплитудно-цифрового преобразования с частотой дискретизации $f = 40$ МГц каждый с разрешением 12 бит.

Сигнал, усиленный усилителем, поступает на вход АЦП, который преобразует сигналы и записывает их для обработки. Программа регистрации и обработки экспериментальных результатов написана на языке Delphi 7. Дальнейшая обработка полученных массивов проводится в стандартных программах MathCad, Origin, Statistica. Токовый или интегрированный импульс аппроксимируется зависимостями (11) или (12) по методу наименьших квадратов.

Для каждого исследуемого вещества проводится несколько серий измерений по 100 импульсам лазера в каждой серии. Поскольку «наводка» от лазера достаточно стабильна по форме и амплитуде, ее подавление осуществляется вычитанием из данных, содержащих как исследуемый сигнал, так и наводку, данных, содержащих только наводку. Результаты подавления наводки представлены на рис.10.

Конечным результатом работы блока сбора и обработки данных является значение измеряемого времени жизни электронов τ_n с соответствующей погрешностью.

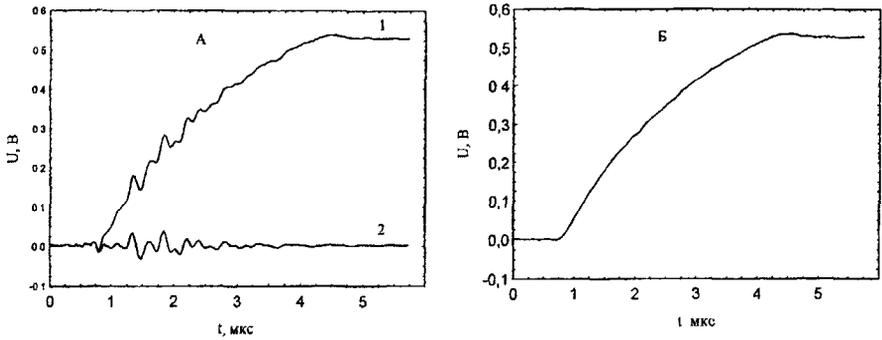


Рис. 10. А – результаты оцифровки импульса напряжения «сигнал+наводка» (1) и наводки (2), Б – результат вычитания двух сигналов.

В §4.3. описаны результаты тестирования и оптимизации установки.

Для оптимизации параметров установки с целью увеличения отношения «сигнал/шум» была изучена эффективность поверхностной лазерной фотоионизации различных материалов. Показано, что максимальной эффективностью поверхностной фотоионизации обладает магниевый катод, для которого величина эмитированного заряда $Q \approx 3.5 \cdot 10^{-14}$ Кл.

На рисунке 11 приведены результаты измерения константы захвата свободных электронов в модельной смеси $O_2 + CO_2$. Хорошее совпадение экспериментальных результатов и литературных данных свидетельствует об адекватной работе системы сбора, анализа и обработки информации.

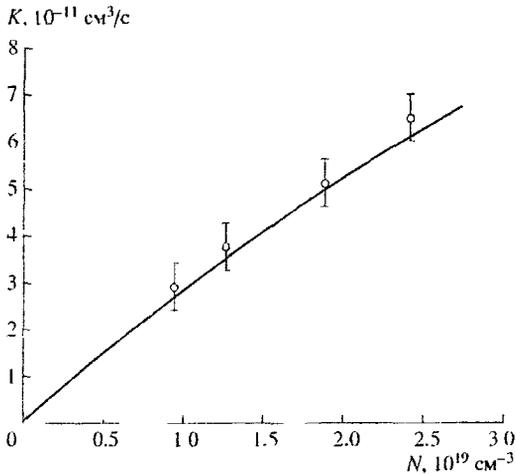


Рис. 11. Зависимость коэффициента захвата свободных электронов в смеси CO_2-O_2 от плотности смеси. Сплошная линия – литературные данные.

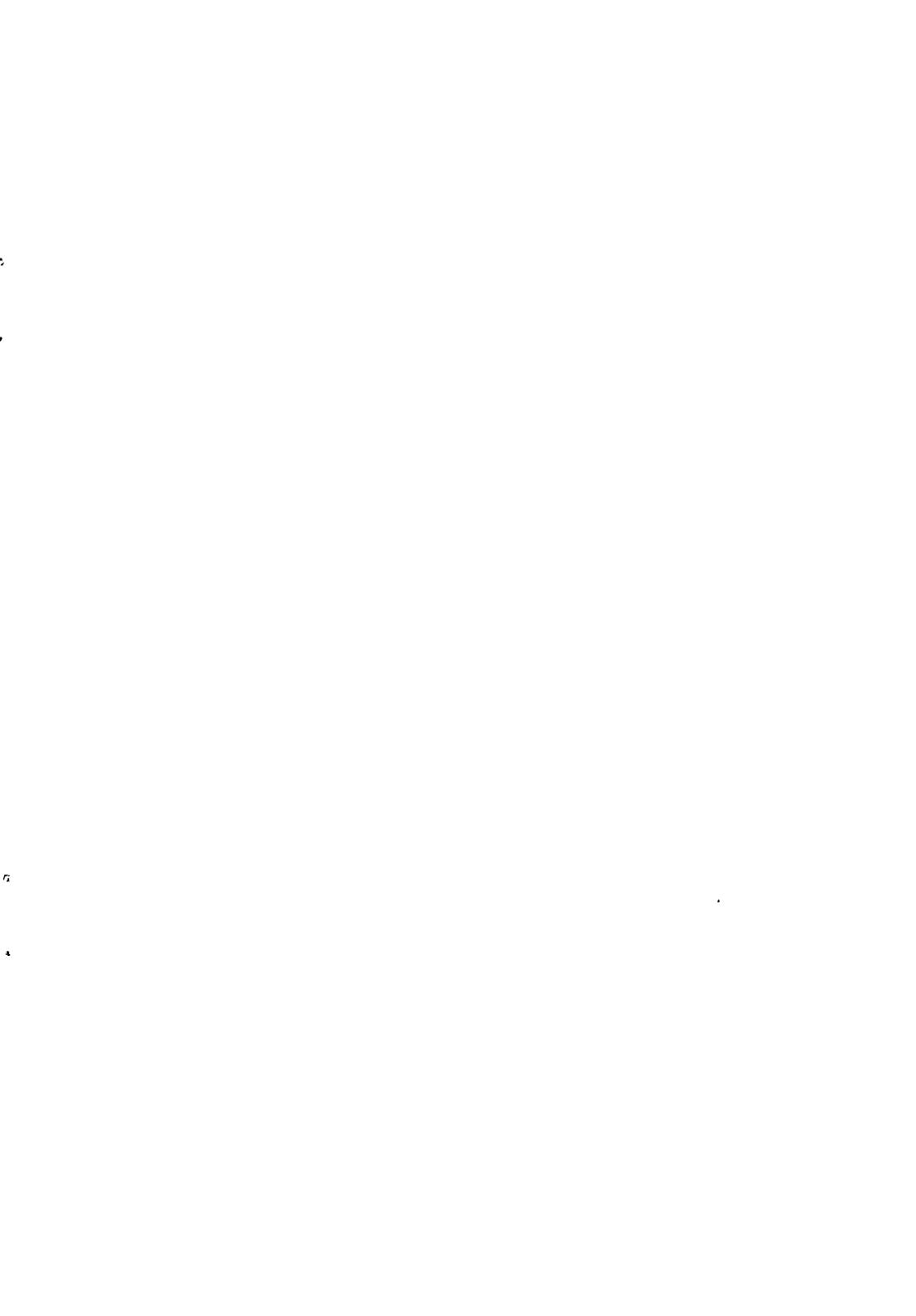
В **заключении** представлены основные результаты диссертационной работы:

1. Исследованы и развиты основные принципы построения высокоточных лазерных калибровочных систем газовых координатно-чувствительных детекторов объемом $\sim 10 \text{ м}^3$ на базе импульсных ультрафиолетовых лазеров.
2. Разработаны и исследованы основные принципы контроля и управления лазерных калибровочных систем с использованием корреляционно-экстремальных методов и проведена оптимизация методики обработки изображений для увеличения производительности вычислений.
3. Разработан программно-аппаратный комплекс управления лазерной системой калибровки детекторов STAR на ускорителе релятивистских тяжелых ионов RHIC в Брукхэвенской Национальной лаборатории. Показано, что погрешность стабилизации положения концов лазерных лучей составляет не более 0,2 мм.
4. Разработана система регистрации и обработки информации в установке, предназначенной для исследования корреляций физических и биологических (канцерогенных) характеристик химических соединений.
5. Оптимизированы основные параметры установки с целью улучшения отношения «сигнал/шум» и получения достоверных результатов измерения константы захвата свободных электронов в газовой фазе.
6. Получены экспериментальные данные по фотоэмиссии электронов из металлов, полупроводников и диэлектриков под действием излучения N₂-лазеров. Показано, что фотоэмиссия электронов в этом случае обусловлена поверхностным двухфотонным фотоэффектом.

Основные положения диссертационной работы изложены в публикациях:

1. The laser system for the STAR time projection chamber J. Adams,..., A.Brandin,..., et al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A, Volume 499, Issues 2-3, 2003, Pages 692-702.
2. A laser calibration system for the STAR TPC. J. Adams,..., A.Brandin,..., et al., Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A, Volume 478, Issues 1-2, 2002, Pages 163-165.
3. STAR detector overview. K. H. Ackermann,..., A.Brandin,..., et al. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A, Volume 499, Issues 2-3, 2003, Pages 624-632.
4. Регистрация и обработка данных при исследовании захвата свободных электронов. А.В. Брандин, Е.М. Гушин, С.Г. Покачалов, и др. Известия высших учебных заведений. Электроника, 2004, №3, -С. 77-82.
5. Лазерная калибровочная система время-проекционной камеры спектрометра STAR. А. Брандин, Е. Гушин, А. Ридигер, и др. II Всероссийская конференция. Университеты России - фундаментальные

- исследования. Физика элементарных частиц и атомного ядра. Сборник научных трудов.- М.: МИФИ, 2001.- С. 87-88.
6. Система управления лазерной калибровочной системы детектора STAR. А.В. Брандин, Е.М. Гуцин, А.В. Ридигер. III Всероссийская конференция. Университеты России - фундаментальные исследования. Физика элементарных частиц и атомного ядра. Сборник научных трудов. - М.: МИФИ, 2002, 144-145. - М.- 2002.- С. 144-145.
 7. Система автоматизированного контроля лазерной калибровочной системы детектора STAR. А.В. Брандин, Е.М. Гуцин, А.В. Ридигер, и др. IV Всероссийская конференция. Университеты России - фундаментальные исследования. Физика элементарных частиц и атомного ядра. Научная Сессия МИФИ-2003. Сборник научных трудов. - М.: МИФИ, 2003.- С. 46-47.
 8. Разработка программного обеспечения для системы автоматизации измерений времени жизни свободных электронов. А.В. Брандин, Е.М. Гуцин, И.М. Полещук. Научная Сессия МИФИ-2003. Сборник научных трудов.- М.: МИФИ, - 2003.- Т.5: Медицинская физика и техника, биофизика. Математическое моделирование в геофизике. Охрана окружающей среды и рациональное природопользование. Теоретические проблемы физики. - С. 102-103.
 9. Установка для измерения времени жизни свободных электронов. А.В. Брандин, Е.М. Полещук, И.М. Ободовский и др. Научная Сессия МИФИ-2003. Сборник научных трудов.- М.: МИФИ, - 2003. - Т.5: Медицинская физика и техника, биофизика. Математическое моделирование в геофизике. Охрана окружающей среды и рациональное природопользование. Теоретические проблемы физики. - С. 104-105.



2006А
10308

№ 1 0 3 0 8

Подписано в печать 21.04.2006г. Формат 60/84 ¹/₁₆
Бумага офсетная. Печать оперативная.
Усл. печ. л. 1. Тираж 100 экз.

Отпечатано в Самарском государственном
аэрокосмическом университете.
443086 г.Самара, Московское шоссе, 34