

## 6 - Атомная, ядерная физика, физика элементарных частиц

Дьякова Екатерина Владимировна, 2 курс  
Тверь, Тверской государственный университет, физико-технический  
**Разработка теоретических основ позитронного реактивного двигателя**  
Самсонов Владимир Михайлович, д.ф.-м.н.  
e-mail: [e-v-dyakova@yandex.ru](mailto:e-v-dyakova@yandex.ru) стр. 226

Мингажева Ризалина Вилевна, 5 курс  
Москва, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, физический  
**Измерение плотности количества грейнов и исследование эффективности реконструкции треков в ЯФЭ на установке ПАВИКОМ**  
Полухина Наталья Геннадьевна, д.ф.-м.н.  
e-mail: [rizalinko@gmail.com](mailto:rizalinko@gmail.com) стр. 227

Шадрин Никита Сергеевич, магистрант 2 года обучения  
Новосибирск, Новосибирский государственный технический университет, физико-технический  
**Исследование деградации полупроводниковых детекторов под действием излучения в области экстремального ультрафиолета**  
Николенко Антон Дмитриевич, к.ф.-м.н.  
e-mail: [n.s.shadrin@gmail.com](mailto:n.s.shadrin@gmail.com) стр. 228

## Оценка возможности создания позитронного реактивного ракетного двигателя

*Дьякова Екатерина Владимировна*  
*Тверской государственный университет*  
*Самсонов Владимир Михайлович, д.ф.-м.н.*  
*[e-v-dyakova@yandex.ru](mailto:e-v-dyakova@yandex.ru)*

В настоящее время в авиации и космонавтике применяются лишь химические реактивные двигатели, в которых реактивная струя создаётся за счёт окислительно-восстановительных реакции. Соответственно, для работы химического реактивного двигателя необходимы две жидкости: окислитель и восстановитель (топливо). Наиболее эффективным топливом, с точки зрения величины максимальной (теоретической) скорости истечения газов ( $u$ ) является сжиженный водород. Однако и в этом случае  $u$  не превышает 5,6 км/с, что недостаточно для межпланетных полётов.

Теоретическая скорость истечения газов  $u$  находится с использованием первого закона термодинамики (закона сохранения энергии), т. е. приравнивания удельную теплоту  $q$ , выделяющуюся при сгорании единицы массы топливной смеси удельной кинетической энергии  $u^2/2$ :

$$u = \sqrt{2q}. \quad (1)$$

В данной работе мы не затрагиваем проблемы уточнения данной формулы, поскольку нас будет интересовать принципиальная возможность создания реактивных двигателей другого типа, которые можно условно назвать реактивными тепловыми двигателями (РТД). Имеются в виду двигатели, использующие лишь одну жидкость (монотопливо).

В таком двигателе реактивная струя будет создаваться путём испарения «топлива» и последующего нагрева газа с помощью тепла, получаемого от того или иного источника тепла. В таком двигателе реактивная струя будет создаваться путём испарения «топлива» и последующего нагрева газа с помощью тепла, получаемого от того или иного источника. Для такого двигателя также будет применима формула (1), хотя величина  $q$  уже не будет отвечать теплоте химической реакции:

$$q = \lambda_{исп} + c_V(T - T_0), \quad (2)$$

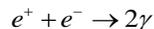
где  $\lambda_{исп}$  – теплота испарения,  $c_V$  – изохорическая удельная теплоёмкость газа,  $T$  – Конечная абсолютная температура газа,  $T_0$  – температура, при которой происходит испарение жидкости.

Если в качестве топлива используется водород, то в соответствии с формулой (2) находим  $q \approx 36,5 \cdot 10^6$  Дж/кг. При оценке было принято, что  $T_0 = 0$  К, а в камере сгорания  $T = 3460$  К. Теплота необходимая для нагревания газообразного водорода находилась в приближении идеального газа.

Теоретическая скорость истечения газа, вычисленная по формуле (1):  $u = 8,544$  км/с.

Но встанет вопрос: как нагреть водород до необходимой температуры?

Одно из возможных решений предложила компания Positronics Research, финансируемая NASA. Предложенный ими двигатель назван позитронным, так как теплота, необходимая для испарения водорода и его нагрева в газообразном состоянии, получается в процессе аннигиляции электрон-позитронной пары:



В соответствии с формулой Эйнштейна  $E = mc^2$ , при аннигиляции электрон-позитронной пары будет выделяться энергия, которая нагреет монотопливо.

Нами проведены оценки удельного импульса  $u$  для различных рабочих веществ: водорода ( $u = 10,6$  км/с) и воды ( $u = 4,7$  км/с), а так же количества позитронов, минимально необходимых для реализации позитронного реактивного двигателя. Показано, что это количество сравнимо по порядку величины с годовым производством позитронов.

Сделан вывод о том, что создание и применение РПД вполне возможно, но связано с рядом принципиальных проблем, среди них основной является поглощение  $\gamma$ -квантов, которая также рассматривается в данной работе.

Однако аннигиляция – не единственный способ нагревать водород. Ещё в 60-х гг. обсуждалась возможность создания альтернативных нехимических реактивных двигателей для авиации и космонавтики на ядерной энергии. Такой двигатель назвали реактивным ядерным двигателем (РЯД). Были даже созданы опытные образцы, для которых  $u = 8,2 - 9$  км/с.

Применительно к позитронному реактивному двигателю возникает проблема, не относящаяся к РЯД: легко показать, что фотоны, получающиеся при аннигиляции электрон-позитронных пар будут соответствовать мягкому  $\gamma$ -излучению, которое, тем не менее, обладает высокой проникающей способностью. С точки зрения перспектив создания позитронного двигателя, это означает, что  $\gamma$ -излучение не будет заметным образом поглощаться монотопливом или обычным теплоносителем, и путь решения этой проблемы нам пока не ясен. Одна из возможностей отвечает использованию расплава свинца в качестве теплоносителя, но даже свинец не может при толщинах слоя менее 10 см полностью или практически полностью поглощать  $\gamma$ -излучение. Кроме того, столь нестандартное использование металлов в качестве теплоносителя практически не изучено в радиационной физике материалов. Тем не менее, на основе изложенного выше можно сделать вывод о принципиальной возможности создания позитронного реактивного двигателя, хотя осуществление такого проекта связано с решением целого ряда весьма сложных проблем.

## **Измерение плотности количества грейнов и исследование эффективности реконструкции треков в ЯФЭ на установке ПАВИКОМ**

*Мингажева Ризалина Вилевна*

*Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова*

*[rizalinko@gmail.com](mailto:rizalinko@gmail.com)*

Трековые детекторы широко используются в физике элементарных частиц на протяжении очень многих десятилетий. В трековых детекторах регистрация элементарных частиц сопровождается появлением наблюдаемых следов (треков), повторяющих траекторию движения элементарной частицы. он, заряженные пионы, странные и очарованные частицы, таонное нейтрино).

Среди трековых детекторов стоит выделить Ядерные Фотоэмульсии (ЯФЭ) и твердотельные детекторы, чье уникальное высокое пространственное ( $<1$  мкм) разрешение и активно развивающаяся автоматизация обработки данных в ЯФЭ привела к постановке и успешной реализации многих новых экспериментов, использующих значительные объемы ЯФЭ, в частности, в нейтринной физике[1].

Ядерные эмульсии состоят из желатина и взвешенных частиц кристаллического бромистого серебра (AgBr) размером до 0.3 мкм и имеют толщину до нескольких сотен микрон (толщина обычных эмульсий 10 мкм). Заряженные частицы, проходя через слой эмульсии, ионизируют атомы, лежащие на их пути. В результате происходит разложение бромистого серебра и образование центров скрытого изображения. При последующей проявке в эмульсии образуются мельчайшие зёрна, т. н. грейны, металлического серебра размером до  $\approx 1$  мкм, которые наблюдаются под микроскопом в виде точек различной жирности[3].

Самые крупные нейтринные эксперименты содержат тонны ЯФЭ, что соответствует тысячам квадратных метров поверхности эмульсии. Необходимость обработки такого большого объема информации потребовала наличие автоматизированного комплекса. В ФИАНе создан и успешно эксплуатируется не имеющий аналогов в России многоцелевой уникальный измерительный комплекс ПАВИКОМ (Полностью АВтоматизированный Измерительный КОМПлекс).

На ПАВИКОМе в режиме полной автоматизации осуществляется:

- поиск и оцифровка треков заряженных частиц в материале детектора;
- распознавание и прослеживание треков с помощью компьютера;
- систематизация и первичная обработка данных.

На данный момент хотелось бы рассказать о двух рассмотренных задачах, важных для работы установки ПАВИКОМ в нейтринных экспериментах.

Важная часть работы автора заключалась в модернизации GUI фреймворка PAVICOM. Универсальность фреймворка PAVICOM позволила добавлять новые графические опции, упрощающие работу оператора сканирования, в качестве так называемых add-on, представляющих дополнительные разделы GUI PAVICOM. Автором был создан соответствующий add-on для измерения плотности вуали (плотность зерен серебра в объеме эмульсии) в ЯФЭ. Он производит тестовое сканирование в заданной области, восстанавливает зерна серебра, и отображает зависимость плотности вуали от глубины.

Также одна из актуальных задач, рассмотренная автором, заключается в исследовании эффективности реконструкции на установке ПАВИКОМ. Некоторое время независимо от применяемых алгоритмов микротрекинга наблюдалось стабильное падение эффективности в диапазоне углов  $\text{tg}(\theta) = 0.2 \div 0.3$ . Было

высказано предположение, что этот провал был вызван падением эффективности поиска кластеров для треков с малым углом наклона. В некотором диапазоне углов два последующих зерна могут быть соединены, однако образовывать довольно вытянутую структуру. Возможно, слишком низкий отклик фильтра на такой объект является причиной указанного падения эффективности. Перед автором была поставлена задача исследования эффективности. Для чего было проведено сканирование с разными фильтрами тестовых пластин, и исследование эффективности реконструкции грейнов для широкого диапазона углов.

Список публикаций:

1. Полухина Н.Г., докторская диссертация, Москва, ФИАН, 2006.
2. Владимиров М. С., кандидатская диссертация, Москва, ФИАН, 2014
3. П. И. Зарубин. «Томография» кластерной структуры легких ядер в релятивистской диссоциации

## Исследование деградации полупроводниковых детекторов под действием излучения в области экстремального ультрафиолета

**Шадрин Никита Сергеевич**

*Николенко Антон Дмитриевич, Шадрин Никита Сергеевич, Машиковцев Михаил Рудольфович, Ивлюшкин Денис Валерьевич, Солдатов Артем Евгеньевич, Заверткин Павел Сергеевич*

*Новосибирский государственный технический университет*

*Николенко Антон Дмитриевич, к.ф.-м.н.*

*[n.s.shadrin@gmail.com](mailto:n.s.shadrin@gmail.com)*

В Институте ядерной физики СО РАН существует метрологическая станция «Космос», расположенная на 10 канале специализированного вывода синхротронного излучения из поворотного магнита накопительного комплекса ВЭПП-4. Работы, проводимые на станции, связаны с разработкой и методик и проведением метрологических измерений на базе станции. Последние полтора года, основной деятельностью станции является проведение работ по изучению радиационной стойкости полупроводниковых кремниевых детекторов р-п и п-р типа (AXUV и SPD [1,2]) под действием излучения в экстремальной ультрафиолетовой области, в районе 100 эВ или 13,5 нм. Данный диапазон представляет большой научный интерес в связи с активным применением в полупроводниковой технике EUV нанолитографии [3,4].

Радиационная стойкость – одна из основных потребительских характеристик полупроводниковых детекторов излучения. Для изучения радиационной стойкостью заявленных детекторов, необходим источник с высокой мощностью, для получения приемлемого времени экспонирования, в требуемом диапазоне от 80 эВ до 150 эВ. Применение источника СИ с разработанной оптической схемой позволяет проводить необходимые работы.

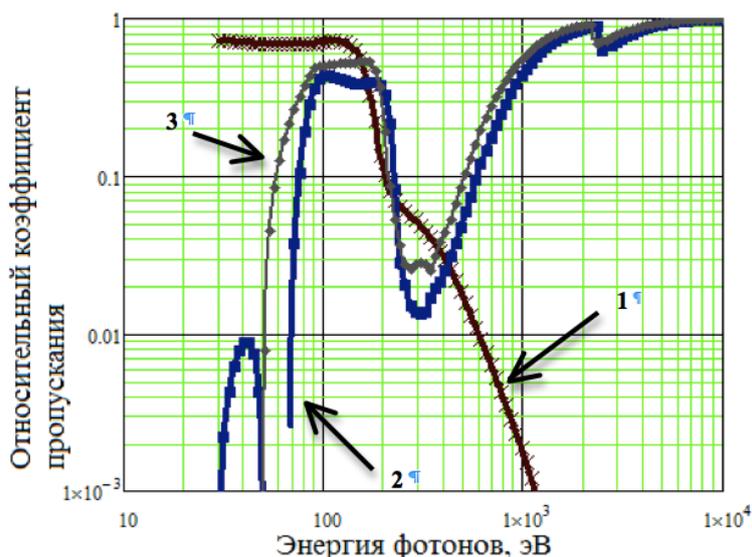


рис 1. Коэффициент пропускания золотого зеркала под углом  $\theta=7^\circ$  (1), ниобиевого фильтра 0,2 мкм (2), и циркониевого фильтра 0,2 мкм (3)

Оптическая схема реализована при помощи сферического зеркала из золота, установленного под углом  $\theta=7^\circ$ , и тонкопленочного ниобий-циркониевого фильтра толщиной в 0.4 мкм (по 0.2 мкм толщина каждого слоя). Фильтр ограничивает поток фотонов в мягкой области спектра, а сферические зеркала полного внешнего

отражения используются для удаления из пучка фотонов с высокой энергией. Примеры расчетных спектральных параметров используемых оптических элементов, приведены на рисунке 1.

Совместное применение этих элементов позволяет выделить из белого пучка СИ спектральную полосу квазимонохроматического излучения с характерной шириной  $\Delta E/E \sim 0.5$  и сравнительно высоким потоком (рисунок 2).

Исследование последствий локальной деградации проводилось в монохроматическом излучении. Для получения монохроматического излучения использовались многослойные рентгеновские зеркала и ниобий-циркониевый тонкопленочный фильтр, по 0.2 мкм толщина каждого слоя.

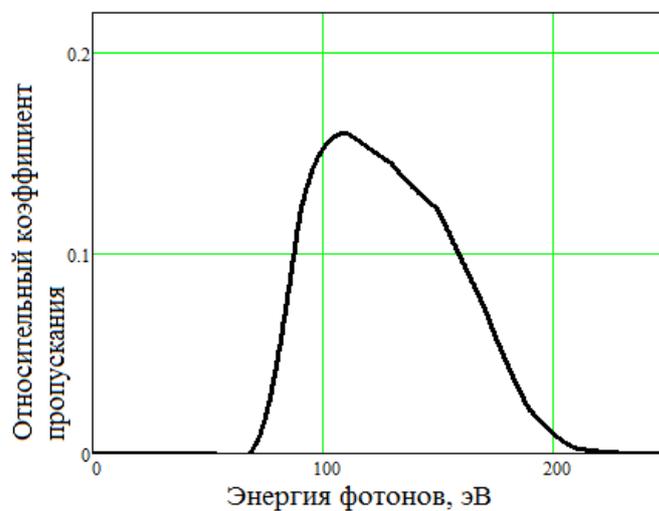


рис. 2. Коэффициент пропускания оптической схемы в целом.

[1] Список публикаций:

- [1] Frank Scholze Guido Brandt, Peter Müller, Bernd Meyer, Frank Scholz, Johannes Tummeler, Katrin Vogel, and Gerhard Ulm, *High-accuracy detector calibration for EUV metrology at PTB // Proceedings of SPIE*. - 2002. - Vol. 4688. - pp. 680-689.
- [2] V.V. Zabrodsky P.N. Aruev, V.L. Sukhanov, N.V. Zabrodskaya, B.J. Ber, D.Yu. Kasantsev, A.G. Alekseyev, *ISMTII-2009 // Silicon precision detectors for near IR, visible, UV, XUV and soft X-ray spectral range*. - Saint-Petersburg, 2009. - Vol. 3. - pp. 3(243-247).
- [3] Салащенко, Чхало, *Вестник Российской Академии Наук*, том 78, №5, 2008, стр. 450-457.
- [4] В. Анчуткин, А. Бельский, О. Гуцин, *Фотоника* 1/2010, стр. 10-15.

