

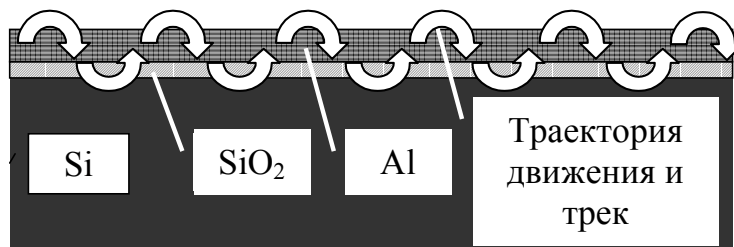
# ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБНАРУЖЕНИЕ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРИЕНТАЦИОННОГО ДВИЖЕНИЯ ГИПОТЕТИЧЕСКИХ МАГНИТО- ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ НА МНОГОСЛОЙНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

С.В. Адаменко<sup>1)</sup>, В.И.Высоцкий<sup>1,2)</sup>

<sup>1)</sup>Лаборатория электродинамических исследований "Протон-21", Киев, Украина

<sup>2)</sup>Киевский национальный университет им. Т. Шевченко, Киев, Украина

При проведении экспериментов по формированию сверхплотного состояния вещества (состояния коллапса [1]) с помощью сильноточного электронного драйвера в Лаборатории электродинамических исследований "Протон-21" много раз регистрировались следы сильного упорядоченного термо-механического воздействия на поверхность многослойной структуры. След имел вид осциллирующей траектории с постоянным периодом, которая периодически углублялась в объем мишени до подложки и выходила на ее поверхность. Поверхность мишени была перпендикулярной направлению на область коллапса и находилась от него на расстоянии 10 см. Эта поверхность представляла собой структуру, состоящую из пластинки Si, покрытой тонким слоем SiO<sub>2</sub> и слоем Al. Траектория (осциллирующий периодичный трек) имела вид пустотелого канала в объеме Al и SiO<sub>2</sub> со средним диаметром около 2 мкм, периодом около  $\Lambda \approx 60$  мкм и длиной более 2000 мкм. На поверхности мишени возле мест выхода трека из объема Al имеется много застывших капелек расплавленного Al. Оценки на основе



учета полной тепловой и механической работы, необходимой для разрушения и плавления части поверхности мишени, соответствующей треку, приводят к величине полного  $\Delta Q_{\text{tot}} \approx 5 \cdot 10^5$  ГэВ и удельного

$dQ/dx \approx 2.5 \cdot 10^6$  ГэВ/см энерговыделения в пределах трека.

В докладе рассмотрен возможный механизм образования таких треков. Он связан с сильным взаимодействием гипотетических магнитозаряженных частиц, которые могут образовываться в зоне коллапса, с разными слоями поверхности, представляющими собой комбинацию парамагнетиков и диамагнетиков. Предсказано, что источником большого энерговыделения могут быть реакции синтеза  $Al^{27} + Al^{27} = Fe^{54}$ , протекающие с большим выделением энергии ( $\Delta E \approx 21,86$  МэВ) и стимулированные магнитозаряженными частицами.

Рассмотрен механизм формирования осциллирующей траектории.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Adamenko S.V., Vysotskii V.I. // Foundations of Phys. Letters, 2004, V.17, P.203

# ТРАНСПОРТИРОВКА И ФОКУСИРОВКА ПУЧКОВ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ С ПОМОЩЬЮ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КАНАЛОВ

К.А.Вохмянина, Г.П.Похил  
НИИ ядерной физики МГУ, Москва, Россия

В последние годы проведен ряд экспериментов, в которых пучки взаимодействуют со стенкой канала, причем это взаимодействие носит самоорганизующийся характер, если канал изготовлен из хорошего изолятора [1,2,3,4]. В первые моменты прохождения заряженных частиц через диэлектрический канал часть ионов сталкивается со стенкой и она заряжается благодаря эмиссии электронов и осаждению ионов на ней. Затем, когда формируется определенное распределение заряда, частицы пучка перестают сталкиваться со стенками, и практически все частицы проходят через капилляр без потерь энергии и без перезарядки.

В настоящей работе показано, что есть, по крайней мере, два механизма этого эффекта. Существенным является конечность длины канала. В средней по длине части канала потенциал краевых сил квадратично зависит от  $x$ . Если длина канала не слишком велика, то краевые эффекты играют решающую роль в формировании потенциала и прекрасно объясняют бесконтактное прохождение ионов через канал. С ростом  $L$  величина поля убывает и при аспектном отношении  $L/d > 10^4$  фокусирующее действие канала уже нельзя объяснить краевыми силами.

Возникающий на стенке заряд распределен не равномерно, а флуктуирует. Быстро осциллирующая сила, действующая на частицу, приводит к возникновению однонаправленной силы, т.н. градиентной силы (силы Миллера-Гапонова) [5,6,7]. Именно эти силы и обеспечивают бесконтактное прохождение ионов через длинный изолирующий канал.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Stolterfoht N., Bremer J.-H., et al. //Phys.Rev.Lett. 2002. V.88. P.133201
2. Жилияков Л.А., Костановский А.В. и др.// Поверхность, 2002, №11, С.65.
3. Жилияков Л.А., Костановский А.В., и др.// Поверхность, 2003, №4, С.6.
4. Похил Г.П., Вохмянина К.А. и др. // XXXIV Международная конференция по физике Взаимодействия заряженных частиц с кристаллами. Москва. 31мая-2 июня, 2004г. Тезисы докладов, с.22.
5. Гапонов А. В., Миллер М. А.// ЖЭТФ, 1958,т.34,С.242.
6. Гапонов А. В., Миллер М. А.// ЖЭТФ, 1958,т.34,С.751.
7. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Механика, Т.1, раздел "Движение частиц в быстро осциллирующем поле".— М.: Наука, 1988г.

# ЭВОЛЮЦИЯ ЗАРЯДОВОГО СОСТОЯНИЯ ТЯЖЕЛЫХ ИОНОВ ПРИ КАНАЛИРОВАНИИ В КРИСТАЛЛАХ

В.С. Малышевский

НИИ физики Ростовского госуниверситета, г. Ростов-на-Дону, Россия

При использовании кинетической теории для описания эффектов перезарядки каналированных ионов требуется введение новой дискретной переменной, определяющей зарядовое состояние иона. Кинетика прохождения ионов через ориентированный кристалл при этом описывается системой кинетических уравнений, число которых равно зарядовому числу иона. Реализация такого подхода позволила проследить эволюцию зарядовых состояний ионов при их движении вдоль кристаллографических направлений, которая существенно отличается от случая движения в аморфной среде. Изменение распределения по зарядовым состояниям в свою очередь влияет на перераспределение плотности потока ионов в каналах кристалла и, в конечном счете, на характер их взаимодействия с кристаллом. Это дает возможность не только объяснить многообразие наблюдаемых эффектов, но и позволит получить из наблюдаемых закономерностей фундаментальные данные о взаимодействии тяжелых ионов с кристаллами.

В основу кинетической теории каналирования тяжелых ионов, учитывающей эффекты перезарядки положены три предположения.

Во-первых, при выводе кинетических уравнений пренебрегается изменением продольной компоненты импульса иона, направленной вдоль кристаллографического направления. Такое приближение справедливо для не слишком толстых мишеней и хорошо себя зарекомендовало в исследованиях структурных особенностей кристаллов методом каналирования.

Во-вторых, предполагается, что начальное состояние пучка ионов представляет собой некогерентный ансамбль, равномерно заполняющий плоскость, перпендикулярную кристаллографическому направлению. В этом случае все прицельные параметры равновероятны, что позволило провести усреднение вероятности взаимодействия иона с кристаллом по координатам доступной области в поперечной плоскости. Доступная область при этом определяется кинематическими соотношениями.

В-третьих, существует большая разница во времени протекания процессов потери (или захвата) электрона ионом и процессов многократного рассеяния, возбуждения валентных электронов и фононов кристалла. Первые процессы являются быстрыми и характерное время их протекания намного меньше вторых. Это обстоятельство позволило представить вероятность комбинированного процесса, содержащего потерю или захват электрона, в виде произведения вероятностей отдельных процессов, что в значительной степени упростило решение поставленной задачи.

Представлены результаты численных расчетов прохождения квазиизотропного пучка ионов Al через кристалл кремния вдоль осевого направления  $\langle 100 \rangle$ .

# ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ПРОТОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 5 ГэВ В КРИСТАЛЛАХ КРЕМНИЯ И ГРАФИТА

С.В. Афанасьев<sup>1)</sup>, А.С. Артемов<sup>1)</sup>, А.Н. Ефимов<sup>1)</sup>, А.Д. Коваленко<sup>1)</sup>, С.В. Романов<sup>1)</sup>, Ш.З. Сайфулин<sup>1)</sup>, А.М. Таратин<sup>1)</sup>, М.А. Воеводин<sup>1)</sup>, В.И. Волков<sup>1)</sup>, Ю.Н. Адищев<sup>2)</sup>, Ю.Л. Пивоваров<sup>2)</sup>, А.П. Потылицын<sup>2)</sup>, А.С. Гоголев<sup>2)</sup>, В.Н. Забаев<sup>3)</sup>, С.Р. Углов<sup>3)</sup>, В.В. Бойко<sup>4)</sup>, Ю.В. Ефремов<sup>4)</sup>, Е.А. Силаев<sup>4)</sup>, С.П. Тимошенко<sup>5)</sup>

<sup>1)</sup>Лаборатория высоких энергий Объединенного института ядерных исследований, Дубна, Россия

<sup>2)</sup>Томский политехнический университет, Томск, Россия

<sup>3)</sup>НИИ ядерной физики при Томском политехническом университете, Томск, Россия

<sup>4)</sup>Институт физики и технологий, Дубна, Россия

<sup>5)</sup>Московский государственный институт электронных технологий, Зеленоград, Россия

Параметрическое рентгеновское излучение (ПРИ) заряженных частиц не зависит от массы частицы. Единственный эксперимент для тяжелых частиц был проведен на пучке протонов (ИФВЭ, Серпухов) при энергии 70 ГэВ [1]. Ожидаемые свойства ПРИ от релятивистских ионов: а) выход ПРИ пропорционален квадрату заряда иона ( $Z^2$ ); б) тормозное излучение абсолютно отсутствует; в) возрастает фон от излучения дельта-электронов.

Эксперимент проводился на пучке протонов с энергией 5ГэВ, выведенном из нуклотрона ЛВЭ ОИЯИ (релятивистский фактор  $\gamma \approx 6,3$ ). Для регистрации рентгеновского излучения использовался полупроводниковый кремниевый ПИН-спектрометр. Энергетическое разрешение спектрометра, измеренное в реальных экспериментальных условиях для  $K_\alpha$  и  $K_\beta$  линий характеристического излучения, возбуждаемых протонами в медной мишени, составило 160 эВ. Измерялись спектры фотонов ПРИ, излучаемых протонами в кристаллах: графита (200) толщиной 2 мм, кремния (100) толщиной 300 мкм в Брэгговской геометрии ( $\theta_B = 22,5^\circ$ ). В измеренных спектрах наблюдались максимумы, положение которых соответствовало энергиям фотонов ПРИ для различных углов ориентации кристалла. Для кристалла кремния абсолютный выход ПРИ составил  $2,25 \times 10^{-6}$  фотон/протон/стерад.

Следующим шагом мы планируем исследовать  $Z$  – зависимость выхода ПРИ на выведенном пучке ионов углерода ( $Z = 6$ ) Нуклотрона.

Работа поддержана грантами: РФФИ#1758 и МНТЦ#2140.

## ЛИТЕРАТУРА

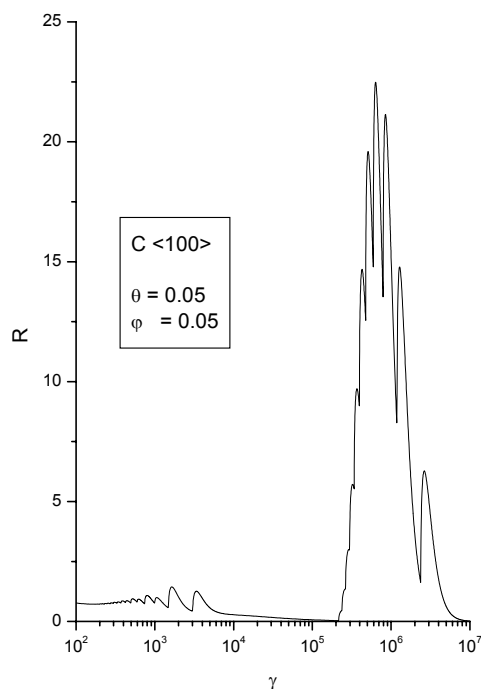
1. Afanasenko V.P. et al. // Physics Letters, 1992, V. A 70, p. 315.

# КОГЕРЕНТНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ АТОМА АНТИВОДОРОДА В КРИСТАЛЛЕ

Ю.П. Кунашенко <sup>1)2)</sup>

<sup>1)</sup>Государственное научное учреждение "НИИ ядерной физики при Томском политехническом университете", г. Томск, Россия

<sup>2)</sup>Томский политехнический университет, г. Томск, Россия



В последнее время существует интерес к получению атомов антиводорода ( $\bar{H}$ ) [1-3], связанный с фундаментальной проблемой симметрии между веществом и антивеществом. Основным способом получения  $\bar{H}$  является взаимодействие образования  $e^+e^-$  пар при взаимодействии антипротонов ( $\bar{p}$ ) с фотонами или атомами с захватом образованного  $e^+$  в связанное состояние с  $\bar{p}$  состояние. Впервые  $\bar{H}$  были получены в эксперименте [4]. К сожалению, число созданных  $\bar{H}$  составило всего несколько десятков. В связи с этим актуальной задачей является поиск способов получения  $\bar{H}$ . Одним из путей увеличения выхода  $\bar{H}$  может быть использование когерентного эффекта в кристаллах [5]. В [5] был рассмотрен когерентный эффект типа Б (осевая ориентация). Увеличение выхода  $\bar{H}$  в этом случае не превысило 10%. При влете пучка  $\bar{p}$  под малым углом к плоскостям кристалла, увеличение выхода  $\bar{H}$  по сравнению с аморфной мишенью более порядка. На рис. показано отношение  $R$  сечения образования  $\bar{H}$  в кристалле к сечению в аморфной мишени в зависимости от релятивистского фактора  $\bar{p}$ . Кристалл алмаза, угол влета  $\bar{p}$  относительно оси  $\theta = 0.05$  мрад, относительно плоскости (100)  $\phi = 0.05$  мрад.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Aste A., Henchken K., Trautmann D., Baur G. // Phys.Rev.A. 1994. V.50. P. 3980
2. Vane C.R., Datz S., Dittner F. et al. // Phys.Rev.Lett. 1992.V.69, P.1911
3. Munger C.T., Brodsky S.J., Schmidt I. // Phys.Rev. D 1994, V.49. P. 3228
4. Blanford G. et al. Preprint FERMILAB-Pub-97/398-EE862 1997, P.1
5. Yu.P. Kunashenko, Yu.L. Pivovarov // Nucl. Instr. Meth. B. 1996, V.119. P.137

# THE THEORY OF FOCUSING OF HIGH ENERGY IONS BY BENT CRYSTALS OF SPECIAL SHAPE

G. V. Kovalev

School of Mathematics, University of Minnesota, Minneapolis, MN 55455, USA

The focusing mechanisms of high energy channeling particles by a bent crystal with a cylindrical end face are considered. The previous estimations /1/ show that the size of smallest focal spot is proportional to the square root of the crystal thickness. In this report we present the detail theory of the focusing in bent crystals using the statistical mechanics. The quantum mechanical effects for focusing and aberration are not considered. The crystalline geometry and parameters, which could provide the maximum magnification and minimum focusing size, are analyzed. The beam envelope near the focusing spot and intensity profile are derived and compared with experimental data /2-3/.

## REFERENCES

1. Kovalev G. V. // Nucl. Inst. and Meth. B. 2003. V.207, P. 482.
2. Denisov A. S., Fedin O. L., Gordeeva M. A. et. al. // Nucl. Instr. and Meth. B. 1992. V.69, P. 382.
3. Baranov V. I. et. al. // XVth International Conference on High Energy Accelerators, Hamburg, Germany, July 20-24. 1992. P128.

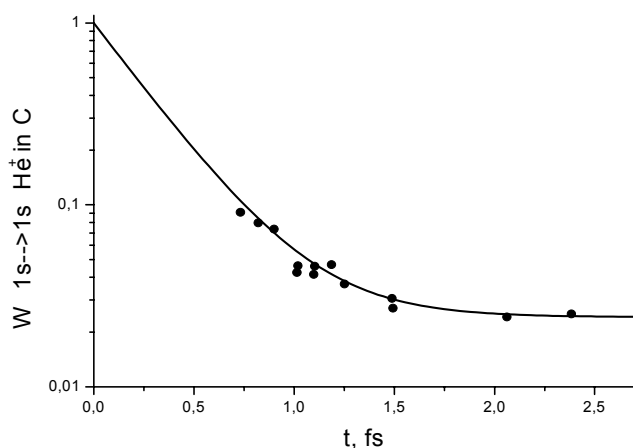
# ОЦЕНКИ ВЕРОЯТНОСТЕЙ ВЫЖИВАНИЯ И ПЕРЕЗАРЯДКИ ВОДОРОДОПОДОБНОГО ИОНА ПРИ ПРОЛЕТЕ ЧЕРЕЗ ПЛЕНКУ

В.А. Александров<sup>1)</sup>, Г.М. Филиппов<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Чувашский государственный университет, Чебоксары, Россия

<sup>2)</sup>Чувашский государственный педагогический университет, Чебоксары, Россия

Решается задача изменения состояния быстрого водородоподобного иона, проходящего через твердотельную пленку, с учетом возможности отрыва единственного электрона от ядра и захвата электрона из твердого тела. Изменение состояния собственного электрона иона рассчитывается при помощи модифицированной теории возмущений, в то время как захват электрона из электронного газа металла учитывается в рамках стандартной теории. Одним из преимуществ применяемого способа является возможность учета влияния всех сопутствующих событий обмена энергией и импульсом между окружающей средой и движущимся ионом на изучаемый процесс. В предыдущих работах (см., например, /1/), учет возможности захвата не производился, поскольку рассматривался неравновесный режим движения в достаточно тонкой пленке. В настоящей работе мы пытаемся распространить ранее полученные результаты на случай движения в пленке малой, но достаточно большой толщины, в которой успевает установиться равновесное распределение фрагментов иона на выходе. На



приводимом рисунке показаны результаты для иона  $He^+$  в углероде. Зависимость вероятности выживания иона рассчитывалась при помощи матрицы плотности. Сечение захвата электрона из углерода оценивалось из экспериментальных результатов работы /2/. Учет захвата производился на основе кинетической теории.

Рис.1. Рассчитанная (сплошная линия) и экспериментальная зависимости вероятности выживания иона гелия в углероде. Энергия иона — 800 кэВ на нуклон

## ЛИТЕРАТУРА

1. Александров В.А., Филиппов Г.М.//Поверхность, 2005. № 4, с.11.
2. Cue N., De Castro Faria N.V., Gaillard M.J., Poizat J.C., Remilieux J.// Comm. 8<sup>th</sup> ICACS. Hamilton, Canada, Aug.12-17, 1979. P.98.