

Д13-2004-101

А. С. Артемов<sup>1</sup>, Ю. С. Анисимов<sup>1</sup>, С. В. Афанасьев<sup>1</sup>,  
С. Н. Базылев<sup>1</sup>, Л. С. Золин<sup>1</sup>, И. Б. Иссинский<sup>1</sup>,  
Я. Климан<sup>1,2</sup>, А. И. Малахов<sup>1</sup>, В. Матоушек<sup>2</sup>,  
М. Морхач<sup>1,2</sup>, В. А. Никитин<sup>1</sup>, А. С. Никифоров<sup>1</sup>,  
П. В. Номоконов<sup>1</sup>, А. В. Пиляр<sup>1</sup>, И. Турзо<sup>2</sup>

КОНТРОЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПУЧКА  
С ВНУТРЕННИМИ МИШЕНЯМИ НА НУКЛОТРОНЕ  
ПО СВЕТОВОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ

Направлено в журнал «Nuclear Instruments and  
Methods A»

---

<sup>1</sup>Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

<sup>2</sup>Институт физики САН, Братислава

Артемов А. С. и др.

D13-2004-101

Контроль взаимодействия пучка с внутренними мишенями на нуклотроне по световому излучению

На нуклотроне для оперативного контроля и временной оптимизации интенсивности взаимодействия пучка с различными внутренними мишенями можно использовать их световое излучение. Приведены примеры получаемой информации о пространственных характеристиках циркулирующего пучка за один цикл работы ускорителя на стадиях инжекции, ускорения и проведения физических экспериментов.

Работа выполнена в Лаборатории высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна, 2004

Перевод авторов

Artiomov A. S. et al.

D13-2004-101

Control of the Beam-Internal Target Interaction at the Nuclotron by Means of Light Radiation

The light radiation from various internal targets at the Nuclotron can be utilized for the operative control and time optimization of the interaction intensity of the beam. The examples presented in the paper illustrate the information about space characteristics of the circulating beam during one cycle of the accelerator run at the stages of injection, acceleration and during the physical experiments.

The investigation has been performed at the Veksler and Baldin Laboratory of High Energies, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna, 2004

## ВВЕДЕНИЕ

Внутренние мишени широко используются в циклических ускорителях ионов для диагностики пространственно-временных характеристик [1–7] и поляризации [8–10] циркулирующего пучка, улучшения его параметров [11, 12], вывода ионов, например, с помощью изогнутых кристаллов [13, 14], формирования пучков вторичных частиц [15], для задач, решаемых с помощью пучка-мишени, пересекающего область взаимодействия под определенными углами [16, 17], и проведения различных физических экспериментов [18, 19]. В частности, использование данной методики на сверхпроводящем ускорителе — нуклотроне [20] (Лаборатория высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина, ОИЯИ, Дубна) предоставляет дополнительные возможности для проведения исследований в переходной области релятивистской ядерной физики с энергией столкновений от сотен МэВ до нескольких ГэВ на нуклон [21]. При этом можно в одинаковых экспериментальных условиях исследовать плавный переход свойств ядерной материи от протон-нейтронного к кварк-глюонному ее состоянию. Используемая на нуклотроне станция внутренних мишеней, ее возможности и полученные физические результаты описаны в работах [22–28]. Для оптимизации данных исследований реализован оперативный контроль интенсивности взаимодействия циркулирующего пучка с мишенью по ее излучению. Основные результаты проведенных в этом направлении экспериментальных исследований представлены в данной работе.

## ОПТИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ВНУТРЕННИХ МИШЕНЕЙ И ХАРАКТЕР ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ПУЧКОМ

Для контроля интенсивности взаимодействия пучка с мишенью используются различные вторичные частицы. Проведенные на нуклотроне исследования с числом дейтронов на орбите  $\sim (10^8 \div 10^{10})/\text{цикл}$  показали, что в широком диапазоне энергий  $0,005 \div 3,5 \text{ ГэВ} \cdot \text{нуклон}^{-1}$  для этой цели хорошо подходит оптическое излучение материала мишени. В экспериментах использовались фольговые мишени из полиэтилена ( $\text{C}_2\text{H}_4$ ), Cu, Al и Au размером  $\sim 4 \times 8 \text{ мм}$  и внутренние мишени в виде углеродных, медных, вольфрамовых и других нитей диаметром  $8 \div 10 \text{ мкм}$ . Фольговые мишени подвешивались на кварцевых нитях диаметром  $9 \text{ мкм}$  в С-образных рамках, закрепленных вертикально на вращающемся с помощью шагового двигателя столике. Для обеспечения постоянного натяжения этих мишеней нити соединялись с рамкой через плоские пружины специальной формы. Излучение регистрировалось через смотровое окно фотоэлектронным умножителем, а в вакууме — детектором на основе микроканальных пластин. Система управления мишенями и считывания информации с детекторов детально описана в работах [22,

25]. Эксперименты показали, что для указанных фольг толщиной менее или порядка микрона интенсивность регистрируемого светового излучения максимальна, так как в его генерации участвует практически вся масса мишени при высокой степени когерентности. С увеличением толщины мишени это условие нарушается и, при сохранении усредненной за время цикла работы ускорителя светимости, наблюдается уменьшение световыхода. В основном из-за уменьшения светимости это же происходит и при переходе к более тяжелым мишеням с близкой геометрической толщиной. Ниже приведены некоторые примеры полученной в этих экспериментах информации.

На рис. 1, при дискретности оцифровки 1 мс, представлена временная структура светового излучения фольговой мишени из золота толщиной

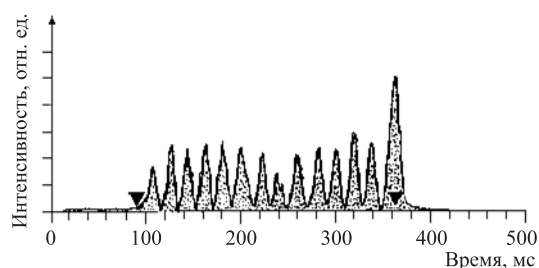


Рис. 1. Временная структура взаимодействия фольговой мишени из золота толщиной 1,7 мкм с циркулирующим пучком дейтронов импульсом 3,8 ГэВ/с. Регистрируется световое излучение мишени. Моменты ввода мишени в пучок и вывода из него отмечены треугольными указателями

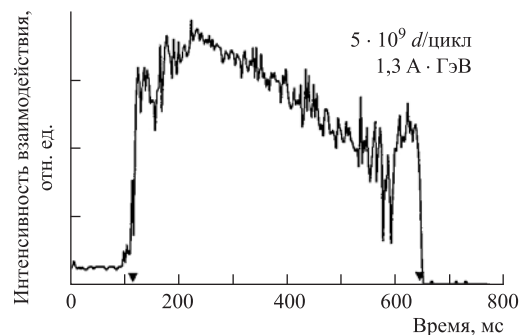


Рис. 2. Временная структура светового излучения полиэтиленовой мишени толщиной 1,6 мкм при ее взаимодействии с циркулирующим пучком дейтронов энергией 1,3 А·ГэВ на нуклотроне

1,7 мкм при ее взаимодействии с пучком релятивистских дейтронов импульсом 3,8 ГэВ/с. Глубокая низкочастотная модуляция излучения в основном

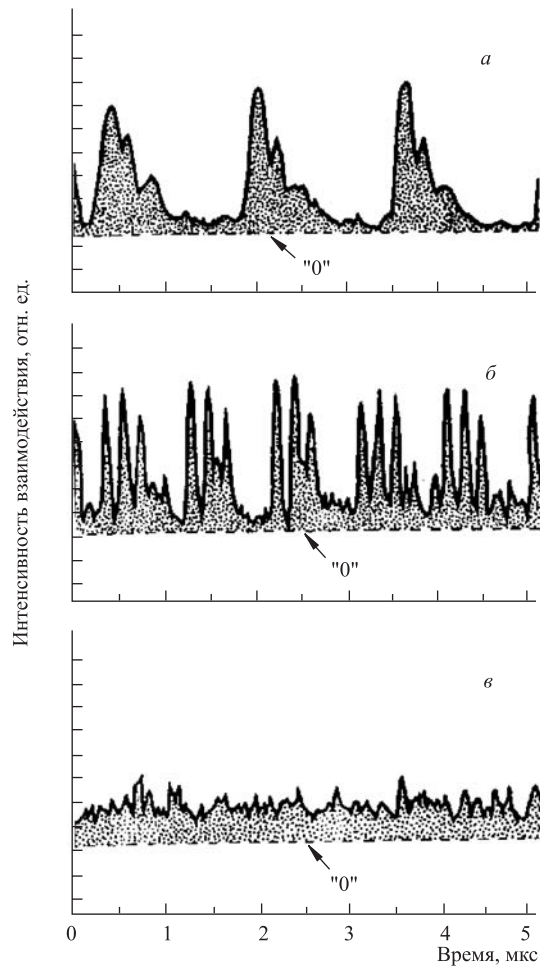


Рис. 3. Микроструктура взаимодействия пучка дейтронов с  $\text{CH}_2$ -мишенью толщиной 1,6 мкм при энергии 1,3 ГэВ/нуклон на различных стадиях работы нуклотрона: *a* — начало цикла ускорения; *б* — выход на «плато» магнитного поля; *в* — циркуляция ускоренного пучка при выключенном ВЧ-поле (диссипация сгустков). Регистрируется световое излучение мишени

обусловлена малым временем жизни ( $\approx 2 \cdot 10^{-4}$  с) части пучка, взаимодействующей с мишенью. Это также происходило и в экспериментах с медными и вольфрамовыми нитями. Данная модуляция практически не наблюдается при использовании  $\text{CH}_2$ -мишени (рис. 2), где указанное время жизни существенно

больше ( $\approx 3 \cdot 10^{-2}$  с). Приведенная информация демонстрирует характер и временную растяжку взаимодействия циркулирующего пучка с мишенями. В ряде экспериментов в вакууме параллельно регистрировалось жесткое излучение мишени. При этом формы полученных сигналов во времени хорошо согласовывались между собой. На рис. 3 представлена микроструктура светового излучения во времени, полученная при дискретности оцифровки 20 нс. Она соответствует взаимодействию внутренней мишени с отдельными сгустками пучка на различных стадиях работы нуклотрона в цикле.

Как отмечается в работе [22], при переходе от временного к пространственному представлению интенсивности излучения движущейся мишени оператор может контролировать пространственные характеристики циркулирующего пучка непосредственно на участке проведения физических экспериментов. Для получения адекватной информации о профиле пучка величина постоянной скорости ( $V_r$ ) пересекающей пучок нитевидной мишени должна обеспечивать достаточно интенсивное излучение при минимальном возмущении пучка. При малых токах циркулирующего пучка и сравнительно большой толщине нити (в г·см<sup>2</sup>) выполнение данного условия в одном цикле перемещения мишени представляется проблематичным. Тем не менее в этом случае определенное представление о характеристиках пучка может быть получено при его «съедании» со стороны надвигающейся нитевидной или фольговой мишени (режим максимальной светимости в физическом эксперименте). При этом пространственно-временная траектория мишени выбирается такой, чтобы среднее время жизни части ионов, взаимодействующих с ней, было меньше или близко к периоду между дискретными перемещениями нитевидной мишени или времени смещения фольги на величину приемлемого пространственного разрешения. Для ориентации наиболее быстрая из таких траекторий, обеспечивающая наилучшее пространственное разрешение (определяемое шагом двигателя), может устанавливаться автоматически по команде оператора. На рис. 4 представлены характерные для таких экспериментов сигналы циркулирующего тока ( $I$ ) и интенсивности светового излучения фольги ( $N_\gamma$ ) в зависимости от ее пространственного положения относительно оси пучка ( $O_b$ ). Как отмечалось выше, наблюдаемая структура обусловлена дискретностью перемещения мишени в пространственно-однородном пучке. В большей степени она выражена для мишеней с меньшим временем жизни пучка. Привязка траектории к границам вакуумной камеры ( $A$ ) позволяет определить полуширину ( $R_{bx}$ ) и горизонтальное положение пучка относительно ее оси ( $O$ ) в области взаимодействия. Для указанных на рисунке характеристик фольги, пучка и времени взаимодействия  $\approx 0,3$  с достигаемое при движении мишени пространственное разрешение оценивается величиной  $\approx 0,3$  мм.

В ряде физических экспериментов с тонкими углеродными нитями использовалась N-образная мишень (см. рис. 5). Она позволила проводить на-

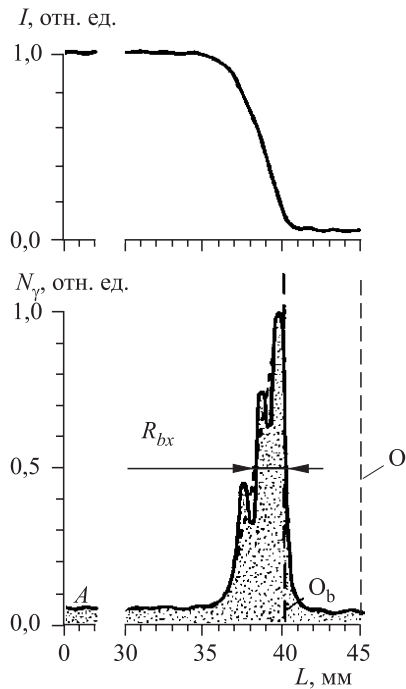


Рис. 4. Зависимость тока ( $I$ ) циркулирующего пучка дейтронов и интенсивности излучения ( $N_\gamma$ ) полиэтиленовой фольги толщиной 2,2 мкм от глубины пространственного перемещения мишени в пучок с внешнего радиуса.  $E_k/A = 1,6$  ГэВ/нуклон

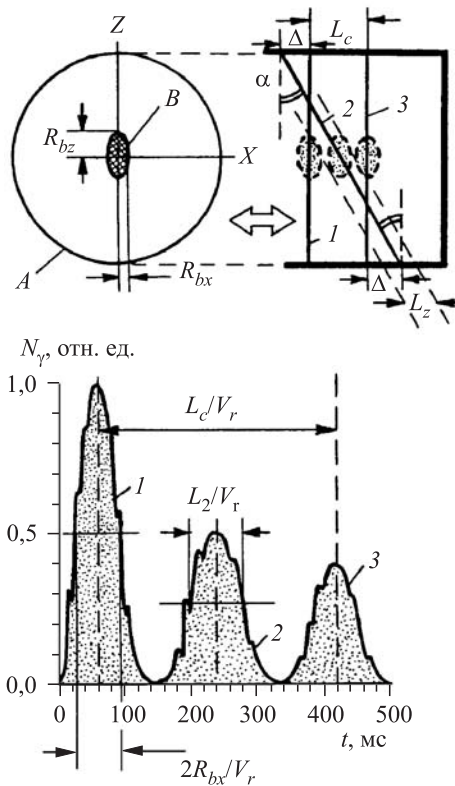


Рис. 5. Схема горизонтального перемещения N-образной внутренней мишени из углеродных нитей и интенсивность их излучения ( $N_\gamma$ ) во времени

бор статистики регистрируемых событий наряду с оперативным контролем пространственных характеристик пучка ( $B$ ) в горизонтальном ( $X$ ) и вертикальном ( $Z$ ) направлениях [29]. Характерная форма сигнала детектора светового излучения во времени приведена в нижней части рисунка. Известное расстояние  $L_c$  между вертикальными нитями 1 и 3 дает масштаб для определения горизонтального профиля пучка независимо от скорости равномерного перемещения мишени. С изменением скорости меняется только масштаб по временной оси ( $t$ ) и соотношение интенсивностей излучения от нитей 1, 2 и 3. Получаемая при таких измерениях величина горизонтального размера пучка

хорошо согласуется с результатами при использовании фольговых мишеней или отдельных нитей в том же сеансе работы нуклотрона. В частности, в проведенных физических экспериментах с дейтронами энергией 1,6 ГэВ/нуклон она составила  $2R_{bx} \approx 4$  мм на полувысоте распределения (см. также рис. 4). Положение кривой 2 на практически одинаковом расстоянии от максимумов сигналов нитей 1 и 3 во времени указывает на то, что ось пучка на участке проведения измерений проходит вблизи плоскости симметрии  $Z = 0$  вакуумной камеры. В предположении, что геометрическое сечение пучка имеет форму канонического эллипса, по известному углу  $\alpha$  между нитями 1, 3 и 2, а также по измеренному значению  $R_{bx}$  можно определить характерный вертикальный размер пучка:

$$R_{bz} = R_{bx} \operatorname{ctg} \alpha \sqrt{(L_2/2R_{bx})^2 - 1}.$$

В данном выражении величина  $L_2$  равна пространственной ширине на полувысоте распределения 2 при скорости мишени, когда амплитуды сигналов 1 и 3 одного порядка, а их ширины близки по величине. Для используемой в этих экспериментах мишени с  $L_c = 20$  мм,  $\alpha = 27^\circ$  и измеренных значений  $R_{bx} \approx 2$  мм,  $L_2 \approx 5$  мм получаем величину  $R_{bz} \approx 3$  мм. По отношению площадей  $S_1/S_3$  под кривыми 1 и 3 можно оценить среднее время жизни  $T_b$  пучка дейтронов, взаимодействующих с ней. При этом эффективная толщина нитевидной мишени за время пересечения пучка оценивается величиной

$$t_g \approx \rho \cdot d^2 / 2R_{bx},$$

где  $d$  и  $\rho$  — диаметр и плотность материала нити соответственно. При указанных на рис. 5 временах взаимодействия и  $S_1/S_3 \approx 1,5$  полученная величина  $T_b \approx 1$  с согласуется с теоретическими значениями произведения  $T_b t_g$ , рассчитанными по алгоритму работы [23] для энергии дейтронов 1,6 ГэВ/нуклон. В предположении гауссовского распределения частиц в поперечном фазовом пространстве ( $R_{bi}/\sigma_{bi} = 1,18$ ;  $\eta\sigma_{bi} = \sqrt{\beta_i \epsilon_i(\eta)}$ ;  $i = x, z$ ), по измеренным значениям  $R_{bi}$  и расчетным величинам  $\beta_i$ -функций ускорителя на участке внутренней мишени [30] получены следующие оценки для эмиттансов циркулирующего пучка дейтронов на нуклотроне при энергии 1,6 ГэВ/нуклон:  $\epsilon_x(\eta = 3) \approx 3$ ,  $\epsilon_z(\eta = 3) \approx 7$  мм·мрад.

С точки зрения минимизации потерь частиц и оптимизации работы ускорителя самостоятельный интерес представляет зондирование пучка внутренней мишенью на стадии инжекции и ускорения. В этом случае по световому излучению можно оперативно отслеживать эволюцию пространственных характеристик пучка как при стационарном положении мишени в разных областях ионопровода, так и при ее радиальном движении по определенной пространственно-временной траектории. Данные возможности наглядно демонстрируют приведенные ниже результаты, полученные при исследовании



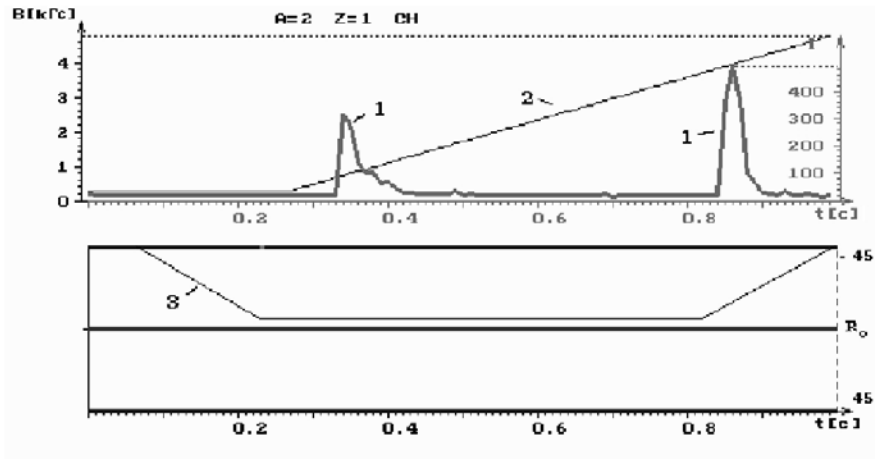


Рис. 6. Сигналы (1, в относительных единицах справа) от светового излучения зондирующей полиэтиленовой мишени при взаимодействии с пучком дейтронов на стадии ускорения — росте магнитного поля  $B$  (2) диполей в реальном режиме работы нуклотрона во времени ( $t$ ). Внизу — пространственно-временнйя траектория (3) мишени в масштабе диаметра ионопровода 90 мм

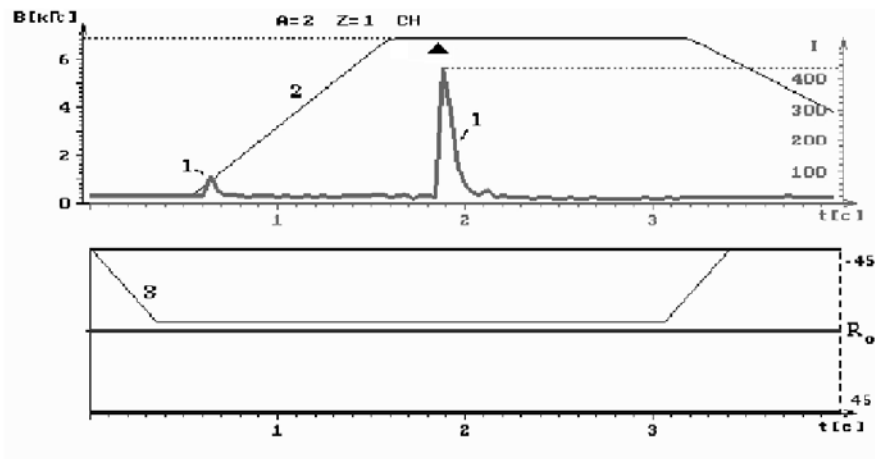


Рис. 7. То же, что и на рис.6, но при полном цикле изменения магнитного поля. Момент выключения ВЧ-поля отмечен треугольным указателем

динамики пучка нуклотрона в ряде режимов его работы, отличных от рассмотренного выше.

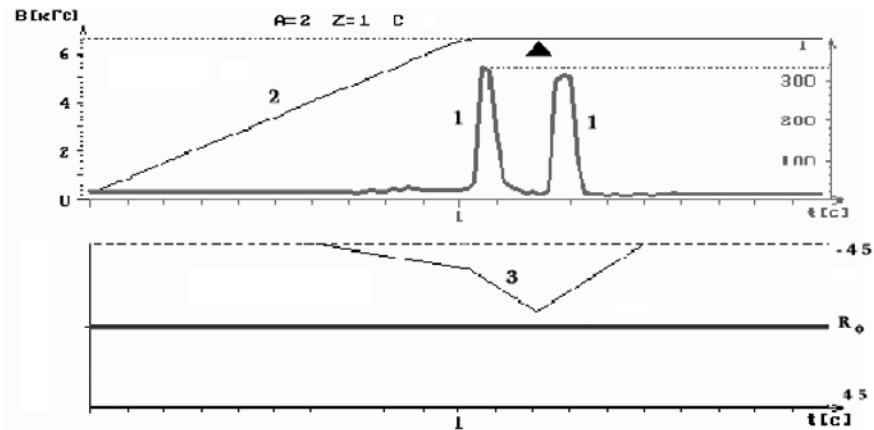


Рис. 8. Сигналы от светового излучения зондирующей углеродной мишени диаметром 8 мкм при взаимодействии с пучком дейтронов энергией 1,6 ГэВ/нуклон. Обозначения, как на рис. 6. Момент выключения ВЧ-поля отмечен треугольным указателем

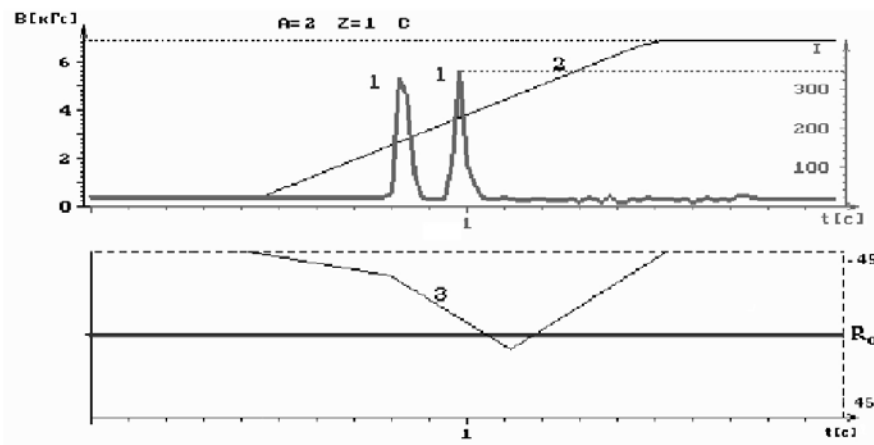


Рис. 9. То же, что и на рис. 6, но для зондирующей углеродной мишени диаметром 8 мкм с измененной пространственно-временной траекторией

В экспериментах с пучком дейтронов интенсивностью  $\sim 10^{10}$ /цикл в качестве зондирующих использовались те же мишени, что и в физических экспериментах, а именно: полиэтиленовая пленка толщиной 12 мкм при ширине 2 мм и углеродная нить диаметром 8 мкм, по высоте полностью перекрывающие ионопровод. Измерения показали, что наибольшей чувствительностью обладает полиэтиленовая мишень, свет от которой регистрировался ФЭУ при

энергии инжекции ( $E_{d/i} = 5$  МэВ/нуклон,  $H = 0,3$  кГс) и на начальном этапе ускорения. Устанавливая эту мишень до начала инжекции в постоянную позицию относительно оси ионопровода (радиус  $R_o$ ), можно было по световому излучению определять положение и характерный размер пучка при последовательном позиционировании мишени в горизонтальном направлении в пределах диаметра ионопровода 90 мм. Полученные при  $H = 0,3$  кГс результаты показали широкое плато почти равномерной интенсивности взаимодействия в диапазоне  $(R_o - 5) \div (R_o - 30)$ .

Последующее поведение пучка в пространстве в данном режиме работы нуклотрона наглядно видно из рис. 6–9. В верхней части рисунков в реальном масштабе времени работы ускорителя приведена форма магнитного поля его диполей и сигнал от светового излучения внутренней мишени. Ее пространственно-временная траектория приведена в нижней части рисунков в пределах реальных поперечных размеров камеры ионопровода. С учетом указанного выше начального положения пучка движение мишеней осуществлялось с внутреннего радиуса ( $R < R_o$ ). На начальном этапе ускорения полиэтиленовая мишень взаимодействует только с периферией пучка, а затем на обратном пути уже со всем пучком более высокой энергии, имеющим значительно меньшие геометрические размеры (см. рис. 6).

Рис. 7 демонстрирует характер взаимодействия пучка при стационарном положении данной мишени в пространстве. Кроме периферийного взаимодействия в начале ускорения, отсутствует излучение во всем диапазоне существования ВЧ-поля. Только в момент его выключения на «столе» магнитного поля ускоренный пучок смещается к  $R_o$  и задевает полиэтиленовую мишень. Данное пространственное смещение ускоренного пучка с немного измененной траекторией также наглядно демонстрирует рис. 8. Первый сигнал от свечения углеродной нити при включенном ВЧ-поле имеет среднее положение  $\bar{R} = R_o - 25$  мм. Второму сигналу (при выключенном ВЧ) от уже уширенного пучка соответствует положение  $\bar{R} = R_o - 19$  мм. Режим значительного смещения орбиты пучка в процессе ускорения в сторону увеличения  $\bar{R}$  наглядно виден из рис. 9. Первое взаимодействие происходит, когда углеродная нить пересекает пучок и уходит в сторону больших  $R$ . В процессе ускорения пучок смещается на такую величину, что он догоняет мишень и происходит повторное взаимодействие.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные в данной работе результаты показывают, что даже в области минимальных удельных потерь энергии циркулирующего пучка используемые в физических экспериментах на нуклотроне внутренние мишени достаточно интенсивно излучают. При этом их световое излучение можно

использовать для оптимизации взаимодействия пучка с мишенью и оперативного контроля его интенсивности в относительных единицах в каждом цикле работы ускорителя. Следует отметить, что, в принципе, по данному излучению можно осуществлять оперативный контроль светимости в проводимых экспериментах. Для этого за определенное число циклов работы ускорителя необходимо реализовать калибровку интегрального потока регистрируемых фотонов на число вторичных частиц, рождающихся за тот же промежуток времени, с сечением, известным с хорошей точностью. При этом могут быть использованы, например, процессы упругого или квазиупругого взаимодействия протонов или ядер, некоторые каналы кумулятивного рождения частиц или результаты активационного анализа ряда мишеней по реакциям  $^{12}\text{C}(p, pn)^{11}\text{C}$ ,  $^{\text{nat}}\text{Cu}(p, x)^{24}\text{Na}$ ,  $^{27}\text{Al}(p, 3pn)^{24}\text{Na}$  и др.

Приведенные выше данные о поперечных размерах ( $R_{bx}$ ,  $R_{bz}$ ) и положении циркулирующего пучка в пространстве при постоянной его энергии не являются результатами систематических измерений пространственных характеристик пучка с помощью внутренних мишеней. Это примеры текущей информации, полученной в процессе выбора их оптимальной пространственно-временной траектории и набора статистики в проводимых экспериментах по релятивистской ядерной физике. Однако продемонстрированные возможности указывают на целесообразность их использования при настройке режимов работы ускорителя для конкретных экспериментов и контроля характеристик пучка во время сеанса. Это же относится и к представленным результатам по взаимодействию пучка с зондирующими мишенями на стадии инжекции и ускорения. Причем этими сканирующими зондами были внутренние мишени, которые использовались в физических экспериментах в том же сеансе работы нуклотрона.

В заключение авторы выражают благодарность коллегам из коллаборации СФЕРА и ускорительных отделов Лаборатории высоких энергий им. В. И. Векслера и А. М. Балдина за помощь в проведении исследований.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Novikov V. P., Serga E. V., Kharlamov A. V.* // Proc. of the 2nd Eur. Part. Accel. Conf. (Nice, 12–16 June 1990). 1990. V. 1. P. 765.
2. *Albert A. et al.* // Nucl. Instr. and Meth. A. 1992. V. 317, No. 1–2. P. 397.
3. *Bosser J., Mann J., Ferioli G., Wartski L.* // Nucl. Instr. and Meth. A. 1985. V. 238, No. 1. P. 45.
4. *Borovkov S. D. et al.* // Nucl. Instr. and Meth. A. 1990. V. 294, No. 1. P. 101.
5. *Pollak R. E., Klassen M., Lash J., Sloan T.* // Nucl. Instr. and Meth. A. 1993. V. 330, Nos. 1–2. P. 27.
6. *Тронь А. М.* // 14-е Совещание по ускорителям заряженных частиц: Сб. докл. Протвино, 1994. Т. 2. С. 85.

7. *Burtin G. et al.* // Proc. of the Eur. Part. Accel. Conf. 2000. V. 1. P. 256.
8. *Авдейчиков В. В. и др.* // Ядерная физика. 1989. Т. 50. С. 409.
9. Proc. of RIKEN BNL Research Center Workshop, v.7 «RHIC Spin Physics», April 27–29, 1998. BNL-65615. P. 151–202.
10. *Анисимов Ю. С., Артемов А. С., Архипов В. В. и др.* // Письма в ЭЧАЯ. 2004. Т. 1, № 1(18). С. 68.
11. *Asseev A. A., Sokolov S. V.* // Proc. of the 2nd Europ. Part. Accel. Conf. (Nice, 12–16 June 1990). 1990. V. 2. P. 1725.
12. Proc. of the 4th Workshop on the Medium Energy Electron Cooling (МЕЕС'98, Dubna). Dubna, 1999. 305 с.
13. *Asseev A. A., Myae E. A., Sokolov S. V., Fedotov Yu. S.* // Nucl. Instr. and Meth. A. 1992. V. 324, Nos. 1–2. P. 31.
14. *Tsyganov E., Taratin A.* // Nucl. Instr. and Meth. A. 1995. V. 363, No. 3. P. 511.
15. *Адо Ю. М. и др.* // Труды десятого Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц (Дубна, 21–23 октября 1986 г.). Дубна, 1987. Т. 2. С. 346.
16. *Amaldi U. et al.* // Phys. Lett. B. 1971. V. 36. P. 504; Proc. of the 16th Intern. Conf. on High Energy Physics (Batavia, 6–13 September). 1972. P. 954.
17. *Muller A.* // Nucl. Instr. and Meth. A. 1989. V. 363, No. 3. P. 511.
18. *Шафранова М. Г.* // ЭЧАЯ. 1974. Т. 5, вып. 3. С. 645.
19. *Ekström C.* // Nucl. Instr. and Meth. A. 1995. V. 362, No. 1. P. 1.
20. *Агапов Н. Н., Коваленко А. Д., Малахов А. И.* // Атомная энергия. 2002. Т. 93, вып. 6. С. 479.
21. *Baldin A. M., Malakhov A. I.* // Nucl. Phys. A. 1994. V. 566. P. 611c.
22. *Артемов А. С. и др.* // Краткие сообщения ОИЯИ. 1996. № 1[75]-96. С. 95.
23. *Artimov A. S.* // Nucl. Instr. and Meth. A. 1995. V. 366, Nos. 2/3. P. 254.
24. *Артемов А. С., Дьяченко В. М., Коваленко А. Д.* Препринт ОИЯИ Р9-95-242. Дубна, 1995. 10 с.
25. *Malakhov A. I. et al.* // Nucl. Instr. and Meth. A. 2000. V. 440. P. 320.
26. *Малахов А. И.* // Труды Международного совещания «Релятивистская ядерная физика — от сотен МэВ до ТэВ» (Созополь, 30 сентября – 5 октября 1996). Дубна, 1997. Т. 1. С. 11.
27. *Анисимов Ю. С., Атанасов И., Афанасьев С. В. и др.* // Краткие сообщения ОИЯИ. 1998. № 5[91]-98. С. 25.
28. *Slepnev L. V., Baldin A. A., Slepnev V. M.* // Proc. of the Intern. Workshop «Relativistic Nuclear Physics: From hundreds MeV to TeV» (June 26 – July 1, 2000, Stara Lesna, Slovak Republic). Dubna, 2001. P. 308.
29. *Артемов А. С., Климан Я., Морхач М., Турзо И.* // Сообщение ОИЯИ Р9-97-126. Дубна, 1997. 9 с.
30. *Василишин Б. В., Иссинский И. Б., Михайлов В. А., Таровик М. Н.* Сообщение ОИЯИ 9-86-512. Дубна, 1986. 10 с.

Получено 24 июня 2004 г.

Редактор *Е. В. Калининкова*

Подписано в печать 27.07.2004.

Формат 60 × 90/16. Бумага офсетная. Печать офсетная.

Усл. печ. л. 0,75. Уч.-изд. л. 0,81. Тираж 255 экз. Заказ № 54533.

Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований  
141980, г. Дубна, Московская обл., ул. Жолио-Кюри, 6.

E-mail: [publish@pds.jinr.ru](mailto:publish@pds.jinr.ru)

[www.jinr.ru/publish/](http://www.jinr.ru/publish/)