

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТА ЭЛЕКТРОННЫХ ОБЛАКОВ ДЛЯ КОЛЛАЙДЕРА NICA

*А. В. Филиппов, В. А. Мончинский, А. Б. Кузнецов*

Объединенный институт ядерных исследований, Дубна

В данной работе представлены предварительные результаты моделирования образования электронных облаков в коллайдере NICA на основе программного пакета E-CLOUD. Для пучка ядер золота обсуждаются требования, предъявляемые к ускорительной камере коллайдера NICA.

We report a previous estimation of electron clouds effect for NICA collider. The E-CLOUD simulation code was used for study of the electron cloud buildup. The NICA collider vacuum chamber requirements for fully stripped gold ion beam are discussed.

PACS: 29.20.-c; 29.90.+g

### 1. МЕХАНИЗМ ПОЯВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ОБЛАКОВ

Электронными облаками (ЭО) принято называть пространственное динамическое распределение электронов, образованное в пучковой камере из первичных электронов (ионизация остаточного газа, фотоэмиссия и т. д.) резонансным вторично-эмиссионным размножением их на стенках камеры.

Первичные электроны ускоряются полем движущихся банчей и после достижения стенки выбивают электроны, вызывая, таким образом, эмиссию вторичных электронов (ЭВЭ) внутрь камеры. Вторичные электроны (ВЭ) при условии резонанса между временем прохождения электронами камеры и пространственным распределением банчей могут вызвать рост электронного заряда в камере вплоть до компенсации пространственного заряда пучка.

Подробное рассмотрение проблемы ЭО в коллайдере, в первую очередь влияние их на динамический вакуум, сделано в BNL на RHIC [1], где в 2001 г. попытка вдвое поднять число инжектируемых банчей привела к полной потере пучка при резком ухудшении вакуума. Обширная информация по ЭО имеется на сайте Electron Cloud in the LHC [2].

Поток электронов на стенки вакуумной камеры и пространственный заряд электронных облаков могут вызывать нежелательные эффекты, такие как:

- рост давления, вплоть до полной потери пучка, по причине десорбции газов с поверхности стенок камеры;
- пучковую неустойчивость;
- рост эмиттанса пучка;
- тепловую нагрузку на криогенные поверхности камеры;
- нарушение работы аппаратуры диагностики пучка.

Эти явления наблюдаются на многих ускорителях и коллайдерах, имеющих высокие интенсивности ускоренных ионов (PSR LANL, PF KEK, PEP-II SLAC, CERN ISR, PS, SPS, RHIC и т.д.).

Более полное описание механизмов образования ЭО и условий их развития для круглой камеры приведено в [3].

## 2. ПРОГРАММНЫЙ ПАКЕТ ECLLOUD [4]

Существуют несколько программ для расчета динамики развития ЭО, написанных в различных ускорительных центрах, а именно: ECLLOUD — разработка CERN [4] (Frank Zimmermann), COUNTRYCLOUD — разработка BNL (Lanfa Wang), CSEC — разработка BNL (Mike Blaskiewicz) [3], PEI — разработка KEK (Kazuhito Ohmi) и POSINST — разработка LBNL (Mauro Pivi, Miguel Furman).

В нашем случае расчеты проводились по свободно доступной версии программы ECLLOUD [4].

Программный пакет ECLLOUD предназначен для расчета образования ЭО в процессе ионизации остаточного газа, фотоэлектронной эмиссии и ЭВЭ со стенок ускорительной камеры при ускорении пучка протонов и изначально был разработан для LHC.

Пакет позволяет произвести расчеты: полного числа электронов на единицу длины; плотности электронов в центральной части камеры; средней энергии электронов, а также среднего тока электронов, осаждаемых на стенках камеры, на единицу длины, на единицу площади, а также в зависимости от азимутального угла и др. Более подробно его описание приведено в инструкции разработчиков [4].

## 3. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Поскольку существуют ограничения в возможности менять параметры пучка, а именно: число банчей, число частиц в банче, расстояние между банчами, RMS-размеры пучка, энергию пучка, а также другие, то постановка задачи для проведения расчетов образования ЭО была следующей:

1) число макрочастиц в сгустке, время пересчета собственного поля, учет изображений зарядов, а также другие параметры были приняты согласно рекомендациям разработчиков программного пакета ECLLOUD [4];

2) параметры  $N_b$  — число банчей,  $N_{ppb}$  — число частиц в банче,  $S_b$  — расстояние между банчами,  $\sigma_{\perp}$ ,  $\sigma_{\parallel}$  — RMS-размеры пучка (пучок круглый),  $E$  — энергия частиц в банче, а также другие значения были приняты для параметров пучка согласно последней версии концептуального проекта NICA [2] (см. табл. ниже);

3) в процессе расчета принималось, что электроны образовывались при ионизации ионами  $^{197}\text{Au}^{79+}$  пучка атомов или молекул остаточного газа ( $\text{H}_2$ , CO) [5].

Расчет проводился для свободного промежутка и промежутков, содержащих дипольный и квадрупольный магниты. Диаметр ускорительной камеры  $D$  варьировался. При этом предполагалось как равномерное заполнение кольца коллайдера сгустками, так и схема чередования пустых и заполненных сепаратрис, или «mapping».

**Параметры пучка и коллайдера NICA [2]**

| Параметр                                                   | Коллайдер Au <sup>79+</sup> × Au <sup>79+</sup>      |
|------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| Число банчей                                               | 13/14/15/17/18                                       |
| Число частиц в банче                                       | 10 <sup>9</sup>                                      |
| Расстояние между банчами, м                                | 19,31/17,93/16,73/14,77/13,94                        |
| RMS радиус банча, м                                        | 0,0014                                               |
| RMS длина банча, м                                         | 0,3                                                  |
| Периметр кольца, м                                         | 252                                                  |
| Энергия инжекции, ГэВ                                      | 197                                                  |
| Магнитное поле диполей, Тл/градиент квадруполя, Тл/м       | 4,2/29                                               |
| Длина свободной/дипольной/квадрупольной секции, м          | 8,8/2,8/0,4                                          |
| Диаметр ускорительной камеры, м                            | 0,06/0,075                                           |
| Эффективное давление газа, пТорр                           | 100                                                  |
| Сечение взаимодействия на остаточном газе, см <sup>2</sup> | (H <sub>2</sub> – 1,3, CO – 5,8) · 10 <sup>-15</sup> |

Целью расчетов являлся поиск диапазонов для величин  $\delta_{\max}$  (коэффициента вторичной эмиссии), предъявляемых к поверхности ускорительной камеры, для которых при заданных параметрах пучка образование ЭО не является критичным, т. е. влияние эффекта электронных облаков (ЭЭО) на стабильность пучка в ускорителе мало.

Все расчеты проведены для коэффициента вторичной эмиссии (КВЭ) в интервале 1,1–1,7. На рис. 1–3 дана зависимость отношения  $\rho_e/\rho_b$  от КВЭ; здесь  $\rho_e$  — линейная зарядовая плотность ВЭ в ЭО,  $\rho_b$  — линейная зарядовая плотность ионов <sup>197</sup>Au<sup>79+</sup> в банче.

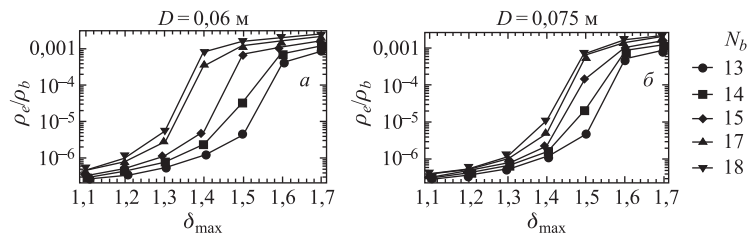


Рис. 1. Зависимость  $\rho_e/\rho_b$  от КВЭ для свободного промежутка

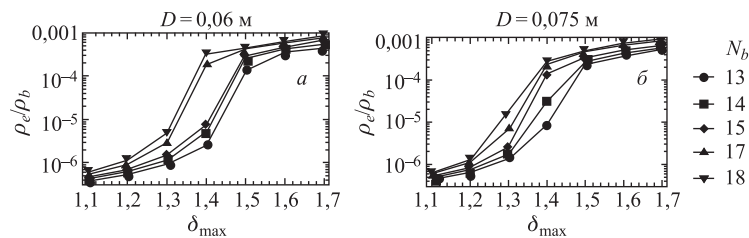


Рис. 2. Зависимость  $\rho_e/\rho_b$  от КВЭ для промежутка с дипольным магнитом

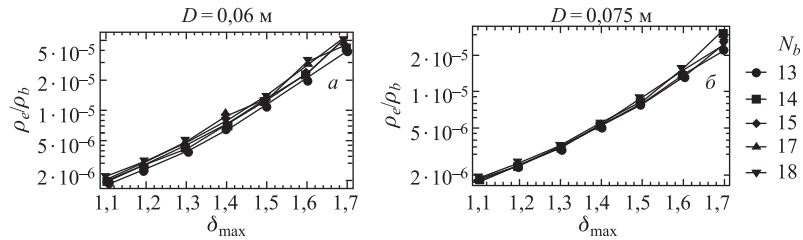


Рис. 3. Зависимость  $\rho_e/\rho_b$  от КВЭ для промежутка с квадрупольным магнитом

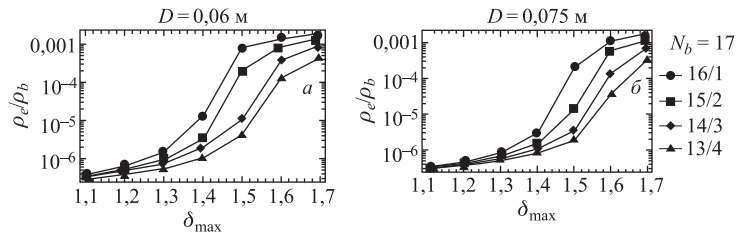


Рис. 4. Зависимость  $\rho_e/\rho_b$  от КВЭ для свободного промежутка («mapping»)

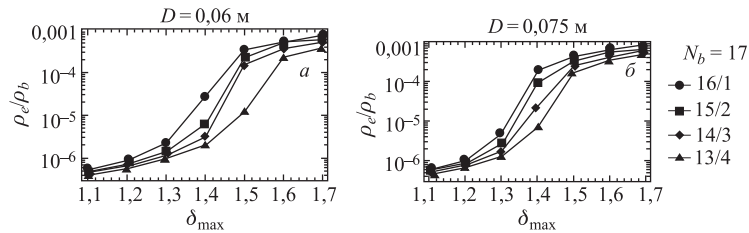


Рис. 5. Зависимость  $\rho_e/\rho_b$  от КВЭ для промежутка с дипольным магнитом («mapping»)

На рис. 4 и 5 приведена зависимость отношения  $\rho_e/\rho_b$  от КВЭ для схемы чередования пустых и заполненных сепаратрис, или «mapping».

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Параметры коллайдера NICA, принятые на данное время, дают основание для утверждения, что ЭО для коллайдера NICA существует и она не менее значительна, чем для RHIC.

Как следует из расчетов плотности ЭО, в прямолинейных участках влиянием ЭО можно пренебречь, приняв диаметр пучковой камеры  $\sim 10\text{--}12$  см. Расчеты, проведенные для квадрупольных участков, также дают незначительную величину плотности электронных облаков.

Наиболее опасными участками остаются дипольные участки, составляющие четверть длины кольца коллайдера. В них для сохранения потерь пучка на уровне  $\sim 10\%$  за час максимальный КВЭ не должен превышать 1,3.

Потребуется проведение специальных исследований по достижению требуемой величины коэффициента вторичной эмиссии в пучковой камере дипольных участков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Fischer W. et al.* // Phys. Rev. ST Accel. Beams. 2008. V. 11. P. 041002.
2. <http://ab-abp-rlc.web.cern.ch/ab-abp-rlc-ecloud/>
3. *Iriso U.* Ph.D. Thesis. Collider-Accelerator Department of the Brookhaven National Laboratory. Upton; N. Y., 2005.
4. *Rumolo G., Zimmermann F.* CERN-SL-Note-2002-016 (AP).  
<http://proj-ecloud-code.web.cern.ch/proj-ecloud-code/>
5. Concept of NICA Collider. Dubna, 2010. Ch. 11. P. 53–57.