

УДК 621.384

ЕРЕВАНСКИЙ СИНХРОТРОН В РЕЖИМЕ РАСТЯЖИТЕЛЯ ИНЖЕКТИРУЕМОГО ПУЧКА ЭЛЕКТРОНОВ С ЭНЕРГИЕЙ 75 МэВ

А.З. БАБАЯН*, В.Ц. НИКОГОСЯН, С.П. ТАРОЯН

Национальная научная лаборатория им. А.И. Алиханяна (ЕрФИ), Ереван

*e-mail: babaian@yerphi.am

(Поступила в редакцию 12 апреля 2013 г.)

На Ереванском синхротроне запланировано проведение эксперимента по исследованию кластерного строения ядра при работе синхротрона в режиме растяжителя инжектируемого пучка электронов с энергией 75 МэВ. Приведены результаты расчета динамики циркулирующего пучка в вакуумной камере синхротрона в течение 5 мс и определены изменения параметров пучка из-за рассеяния электронов на ядрах остаточного газа. Показано, что увеличение размеров пучка из-за рассеяния электронов допустимо при имеющихся размерах вакуумной камеры синхротрона.

1. Введение

На Ереванском синхротроне запланирована программа экспериментов по исследованию кластерного строения ядра на электронном пучке с энергией 75 МэВ. При этом рассматривались 2 варианта проведения эксперимента. В первом варианте рассматривалось проведение эксперимента на пучке линейного ускорителя электронов (ЛУЭ), являющегося инжектором синхротрона. Во втором варианте рассматривалось использование синхротрона в режиме многократной циркуляции инжектируемого пучка и проведение эксперимента на мишени, расположенной внутри вакуумной камеры. Остановились на втором варианте, при котором наиболее эффективно используется пучок электронов с выхода ЛУЭ, т.к. при этом увеличивается duty factor – коэффициент заполнения периода импульса – до 25%.

Еще в 2005 г. на Ереванском синхротроне были выполнены исследования, в результате которых был реализован режим многократной циркуляции инжектируемого пучка в синхротроне в течение 5 мс, что соответствует ~7000 оборотов электронов. Фактически был получен новый режим работы синхротрона – в режиме растяжителя (stretcher). При таком режиме работы нет ускорения пучка, электромагнит синхротрона питается только постоянным током величиной ~30 А, обеспечивающим магнитное поле 99 эрстед для удержания 75 МэВ-ного инжектируемого пучка на орбите. Предусмотрено проведение иссле-

дований на фотонном пучке, получаемом при взаимодействии электронного пучка с внутренней мишенью. Ниже приводится расчет величины рассеяния электронов при упругом взаимодействии с ядрами остаточного газа при давлении в вакуумной камере синхротрона $p = 10^{-6}$ Торр для многократно циркулирующего инжектируемого пучка. Такой расчет был необходим, чтобы удостовериться, что рассеяние электронов при низких энергиях и длительности растяжки 5 мс не приводит к разрушению пучка.

2. Динамика многократно циркулирующего инжектируемого пучка

Электромагнит синхротрона состоит из 48 блоков. Структура синхротрона имеет FOFDOD периодичность и состоит из 24 периодов, в каждый из которых входят 2 блока [1]. На рис.1 показаны бета-функции магнитной структуры по всей окружности кольца синхротрона. Общая длина равновесной орбиты, на которой расположены 48 блоков электромагнита с прямолинейными промежутками между ними, составляет 216 м.

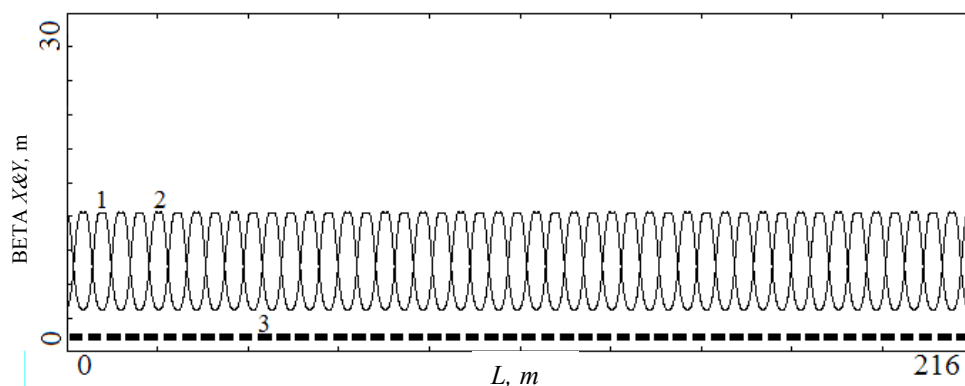


Рис.1. Бетатронные функции синхротрона: 1 и 2 — соответственно, β_x и β_y бетатронные функции; 3 — распределение блоков электромагнита вдоль равновесной орбиты синхротрона.

Табл.1. Основные параметры инжектируемого пучка.

Параметры	Единицы изм.	Величины
Энергия электронов	МэВ	75
Частота повт. имп.	Гц	50
ВЧ частота	ГГц	2.7973
Длит. импульса	мкс	0.7
Длит. банча	см	1.0
Разброс по энергии	%	0.5
Интенсивн. пучка	Электрон/с	$5 \cdot 10^{12}$
Гориз. эмиттанс	мм · мрад	1.73
Верг. эмиттанс	мм · мрад	0.58

Основные параметры инжектируемого пучка приведены в табл.1. Расчет динамики пучка выполнен по программе OptiM. Учтены нелинейности магнитного поля, связанные с краевыми полями полублоков электромагнита синхротрона. Для полного расчета рассеяния электронов при 7000 оборотах пучка в кольце, предварительно было рассчитано рассеяние электронов для одного оборота по известной формуле [2,3]

$$\langle \Theta^2 \rangle = (13.6 \text{ MeV}/\beta pc)^2 (S/X_0), \quad (1)$$

где $\beta = v/c$ – релятивистский фактор, p – в МэВ/с, S – путь прохождения частицы с радиационной длиной X_0 . Для электронного пучка с энергией 75 МэВ формула (1) будет иметь следующий вид:

$$\Theta = (13.6 \text{ MeV}/E) (C/X_0)^{1/2}, \quad (2)$$

где E (МэВ) – энергия электронного пучка, C – длина равновесной орбиты синхротрона, равная 216 м. Рассеяние электронного пучка при совершении одного оборота при давлении в вакуумной камере $p = 10^{-6}$ Торр составляет $\Theta = 0.0056$ мрад. Ниже приводится расчет динамики многократно циркулирующего инжектируемого 75 МэВ-ного пучка в вакуумной камере ускорителя, при питании электромагнита синхротрона только постоянным током. При этом на резонаторы не подается ВЧ напряжение.

На рис.2 и 3 приведены поперечные размеры пучка в центре фокусирующего промежутка в конце 1-го и 7000-ного оборотов относительно внутренних размеров вакуумной камеры, равных $a \times b = 12 \times 5 \text{ см}^2$. Размеры пучка приведены в центре фокусирующего промежутка, где будет установлена мишень, на которую будут наводиться электроны. Бета-функция в этой точке имеет

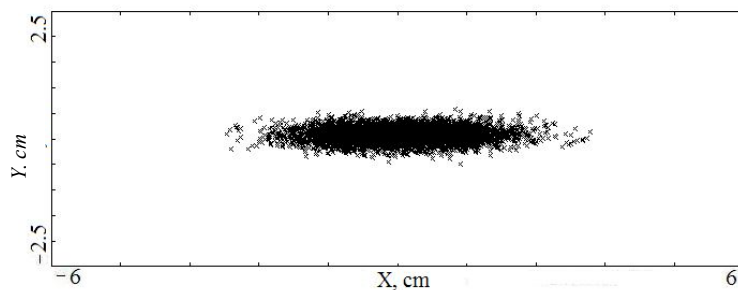


Рис.2. Поперечные размеры пучка после первого оборота.

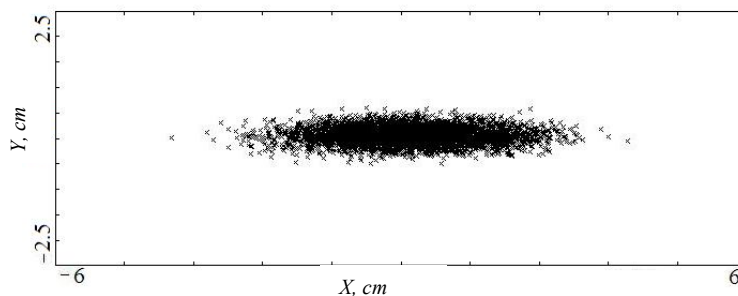


Рис.3. Поперечные размеры пучка после 7000-го оборота.

максимальное значение ($\beta_{\max} = 12.07$ м) и, соответственно, размер пучка по X -координате также имеет максимальную величину.

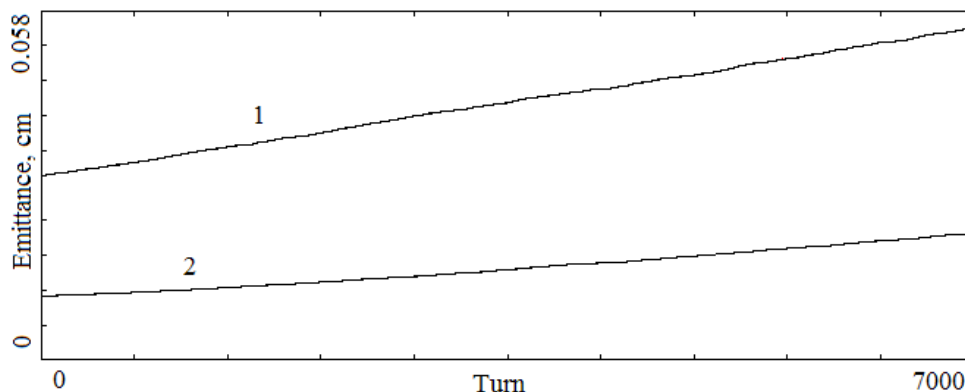


Рис.4. Зависимость X и Y -эмиттансов пучка от оборотов. 1,2 – E_x и E_y нормализованные эмиттансы пучка, соответственно.

Максимальный X -размер пучка составляет 6.5 см после первого оборота и 7.5 см после 7000-го оборота. На рис.4 показаны нормализованные значения X и Y -эмиттансов пучка в зависимости от оборотов. Из приведенного рисунка следует, что эмиттансы увеличиваются от оборотов в допустимых пределах и при 7000 оборотах пучка имеют следующие значения: $E_x = 3.67$ мм·мрад, $E_y = 1.39$ мм·мрад.

3. Заключение

Многооборотная циркуляция инжектируемого пучка при вакууме 10^{-6} Торр приводит к увеличению размера и эмиттанса из-за рассеяния электронов на ядрах остаточного газа, но этот рост допустим при имеющихся размерах вакуумной камеры. Так, X -размер пучка растет с 6.5 см после 1-го оборота до 7.5 см после 7000-ного оборота при внутренних размерах вакуумной камеры $a \times b = 12 \times 5$ см². Таким образом, можно отметить, что рассеяние электронов не приводит к ограничению для достижения режима работы синхротрона ЕрФИ в режиме растяжителя инжектируемого пучка.

Авторы выражают благодарность А.С.Галумяну за постоянный интерес к работе и полезные обсуждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Труды Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Москва, 1970, с.200.
2. Handbook of Accelerator Physics and Engineering, A. Chao and M. Tigner, eds. World Scientific, 1999.
3. USPAS Accelerator School Phys., Lecture 18, November 2001.

ԵՐԵՎԱՆԻ ՍԻՆՔՐՈՏՐՈՆԸ 75 ՄԷՎ ԷՆԵՐԳԻԱՅՈՎ
ԷԼԵԿՏՐՈՆՆԵՐԻ ՆԵՐԱՐԿՎՈՂ ՓՆՋԻ ԶԳԻԶԻ ՌԵԺԻՄՈՒՄ

Ա.Զ. ԲԱԲԱՅԱՆ, Վ.Յ. ՆԻԿՈՂՈՍՅԱՆ, Ս.Պ. ԹԱՐՈՅԱՆ

Երևանի սինքրոտրոնում նախատեսվում է իրականացնել միջուկի կլաստերային կառուցվածքի հետազոտությանն ուղղված գիտափորձ՝ 75 ՄԷՎ էներգիայով էլեկտրոնների ներարկվող փնջի ձգիչի ռեժիմով աշխատանքի ընթացքում: Բերված են սինքրոտրոնի վակուումային խցիկում 5 մվ ընթացքում շրջապտույտի ենթարկվող փնջի դինամիկայի հաշվարկի արդյունքները, և որոշված են փնջի պարամետրերի փոփոխությունները՝ մնացորդային գազի միջուկներում էլեկտրոնների ցրման հետևանքով: Ցույց է տրված, որ էլեկտրոնների ցրման հետևանքով փնջի չափերի մեծացումը թույլատրելի է սինքրոտրոնի վակուումային խցիկի առկա չափերի պայմաններում:

YEREVAN SYNCHROTRON IN THE MODE OF STRETCHER
FOR INJECTED ELECTRON BEAM WITH 75 MeV ENERGY

A.Z. BABAYAN, V.Ts. NIKOGOSYAN, S.P. TAROYAN

At the Yerevan synchrotron experiment is planned on the investigation of a clustered nuclear structure at work of synchrotron in the mode of stretcher of the injected electron beam with energy of 75 MeV. The results of calculation of the circulating beam dynamics in the vacuum chamber of the synchrotron during 5 ms and changes of the beam parameters due to scattering of electrons by nuclei of the residual gas are presented. It is shown that increase in the beam sizes due to scattering of electrons are permissible at having sizes of the synchrotron vacuum chamber.