

*Ю. Г. Аленицкий, А. Т. Василенко, Ц. Д. Вылов, А. А. Глазов, В. И. Данилов,  
Ю. Н. Денисов, В. П. Дмитриевский, С. Н. Доля, Н. Л. Заплатин,  
С. А. Ивашкевич, В. Г. Кадышевский, В. В. Калинин, Г. А. Карамышева,  
И. П. Климкин, В. А. Кочкин, Н. А. Морозов, Д. Л. Новиков, Л. М. Онищенко,  
Н. А. Русакович, Е. В. Самсонов, А. Н. Сисакян, В. И. Смирнов, А. В. Смольков,  
Н. С. Толстой, Ю. И. Тычков, В. А. Уткин, С. Б. Федоренко, А. Ф. Чеснов*

## **Облучательный комплекс «Альфа» для производства трековых мембран**

В Объединенном институте ядерных исследований для ЗАО «Трекпор технолоджи» разработан и изготовлен облучательный комплекс «Альфа», предназначенный для облучения полимерных пленок, используемых в производстве трековых мембран, необходимых для изготовления разделяющих и фильтрующих элементов медицинского, промышленного и бытового назначения [1].

Комплекс «Альфа» включает:

- источник тяжелых ионов на основе электронно-циклотронного резонанса (ЭЦР-типа), разработанный и

изготовленный в НИИЭФА им. Д. В. Ефремова (С.-Петербург);

- изохронный циклотрон с электростатической системой вывода ускоренных ионов;
- систему транспортировки выведенного пучка ускоренных ионов;
- облучательную установку.

Ускоритель ЦИТРЕК представляет собой изохронный циклотрон с азимутальной вариацией магнитного поля (четырёхсекторная структура), аксиальной инжек-

---

*Yu. G. Alenitsky, A. T. Vasilenko, Ts. D. Vylov, A. A. Glazov, V. I. Danilov,  
Yu. N. Denisov, V. P. Dmitrievsky, S. N. Dolya, N. L. Zaplatin, S. A. Ivashkevich,  
V. G. Kadyshesky, V. V. Kalinichenko, G. A. Karamysheva, I. P. Klimkin,  
V. A. Kochkin, N. A. Morozov, D. L. Novikov, L. M. Onischenko, N. A. Russakovich,  
E. V. Samsonov, A. N. Sissakian, V. I. Smirnov, A. V. Smolkov, N. S. Tolstoy,  
Yu. I. Tychkov, V. A. Utkin, S. B. Fedorenko, A. F. Chesnov*

## **Irradiation Complex ALFA for Track Membrane Production**

The film irradiation complex ALFA, intended to expose the polymer films used for the industry of membrane products to be consumed in medicine, microelectronics and technology applications, was designed and manufactured by the Joint Institute for Nuclear Research for TRACK-PORE TECHNOLOGY holding company [1].

The complex consists of external ECR ion source, which was designed and manufactured by the Efremov

NIIEFA (St. Petersburg), isochronous cyclotron with electrostatic extraction system, beam transport of the accelerated ions and film irradiation chamber.

CYTRACK is an isochronous cyclotron with azimuthally varying field (four pairs of sector shims), axial injection, radiofrequency accelerating system and electrostatic deflectors for extracting ions from the accelerator.

цией ионов, высокочастотной ускоряющей системой и электростатической системой вывода. Основные технические характеристики циклотрона ЦИТРЕК приведены в таблице.

Характеристики циклотрона	
Ускоряемые ионы	$^{40}\text{Ar}^{8+}$
Тип ионного источника	ЭЦР
Тип инъекции	Аксиальная
Рабочий вакуум, торр	$3 \cdot 10^{-7}$
Начальная энергия, МэВ/нуклон	0,003
Конечная энергия, МэВ/нуклон	2,4
Начальный радиус ускорения, мм	53
Конечный радиус ускорения, мм	730
Интенсивность выведенного пучка, нА	200
Эффективность вывода	50 %
Параметры электромагнита циклотрона	
Габаритные размеры магнита, м	$3,7 \times 2 \times 1,65$
Вес магнита, т	83
Диаметр полюса, м	1,6

Уровень среднего магнитного поля, Тл	1,48
Рабочий ток, ампер-витки	92750
Потребляемая мощность, кВт	25
Зазор между полюсами:	
в холме, мм	40
в долине, мм	100
Параметры высокочастотной системы	
Количество дуантов	2
Азимутальная протяженность дуантов, °	45
Амплитуда напряжения на дуантах, кВ	$40 \div 50$
Резонансная частота, МГц	18,258
Кратность ускорения	4
Добротность резонансных систем	3500

На рис. 1 представлена структура циклотрона в плане, на котором видны четыре сектора на полюсе электромагнита S, два дуанта высокочастотной ускоряющей системы D1 и D2, электростатические дефлекторы ESD1, ESD2 и пассивный магнитный фокусирующий канал FD.

The main characteristics of CYTRACK are given in table.

Parameters of CYTRACK cyclotron	
Accelerated particle	$^{40}\text{Ar}^{8+}$
Ion source type	ECR
Type of injection	Axial
Pressure, Torr	$3 \cdot 10^{-7}$
Injection energy, MeV/nucleon	0.003
Final energy, MeV/nucleon	2.4
Injection radius, mm	53
Extraction radius, mm	730
Extracted beam intensity, nA	200
Extraction efficiency	50%
Magnetic system parameters	
Overall dimensions of yoke, m	$3.7 \times 2 \times 1.65$
Weight of iron, t	83
Diameter of poles, m	1.6

Mean magnetic field, T	1.48
Current, ampere-turns	92750
Power consumption, kW	25
Gap between poles:	
Hill, mm	40
Valley, mm	100
RF system parameters	
Number of dees	2
Azimuthal extension, °	45
Voltage amplitude, kV	$40 \div 50$
Frequency, MHz	18.258
Harmonic number	4
Quality factor	3500

A general plan of the cyclotron with four sector shims S, two dees of RF system D1 and D2, electrostatic deflectors ESD1 and ESD2 followed by magnetic focusing channel FD is shown in Fig. 1.

Ведущее и фокусирующее магнитное поле создается при помощи Ш-образного электромагнита с четырьмя секторными шиммами на цилиндрических полюсах. Необходимый рост среднего магнитного поля вдоль радиуса обеспечивается увеличением угла секторных шимм с 30 до 41,8°. Для обеспечения необходимой точности формирования изохронного поля использовались также шиммы в долинах магнита. Близость частоты радиальных бетатронных колебаний к единице приводит к жестким допускам на амплитуду первой гармоники магнитного поля. Поэтому поле сформировано так, что амплитуда первой гармоники не превышает 3 Гс.

Энергия ионов, извлекаемых из внешнего ЭЦР-источника, составляет 3 кэВ/нуклон, интенсивность пучка  $^{40}\text{Ar}^{8+}$  на цилиндре Фарадея, расположенном в блоке диагностики в начале линии инжекции, составляет порядка  $3 \div 5 \mu\text{A}$ . Система инжекции включает в себя ионопровод, анализирующий и поворотный двухсекционный магнит, элементы фокусировки и юстировки пучка, синусоидальный банчер и блок диагностики.

Для поворота пучка ионов из вертикальной в горизонтальную плоскость циклотрона ЦИТРЕК применяется спиральный электростатический инфлектор. Предусмотрен механизм, обеспечивающий поворот ин-

флектора вокруг оси ( $\pm 8^\circ$ ), для подстройки траектории ионов под стартовый радиус и стартовый угол для оптимизации начальных условий ускорения ионов в циклотроне.

Для ускорения ионов в магнитном поле циклотрона ЦИТРЕК используется высокочастотная ускоряющая система, настраиваемая на фиксированную частоту. ВЧ-система состоит из двух четвертьволновых резонаторов с ускоряющими электродами в виде дуантов. ВЧ-резонаторы обеспечивают получение частотного диапазона  $18,25 \div 18,60 \text{ МГц}$ . Два дуанта ускоряющей системы имеют азимутальную протяженность  $45^\circ$  каждый и размещены в противоположных долинах магнитной системы. Апертура дуантов равна 24 мм. С обеих сторон дуантов располагаются противодуантные рамки. На рис. 2 показано движение ионов аргона в центре ускорителя (компьютерное моделирование), пред-

Рис. 1. Вид циклотрона ЦИТРЕК в плане

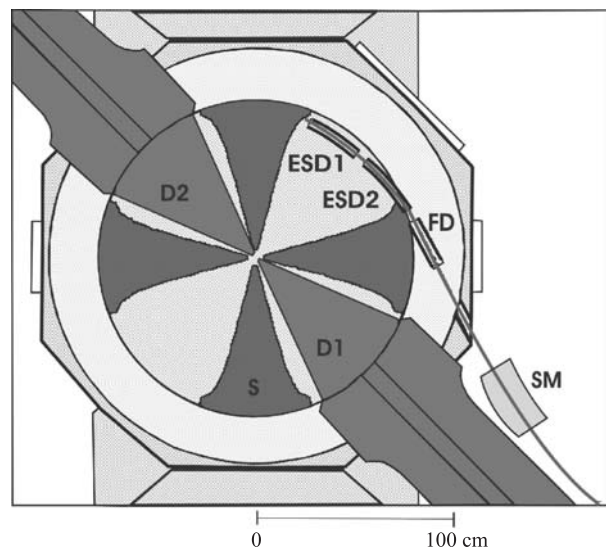


Fig. 1. Median plan view of the CYTRACK cyclotron

The leading and focusing magnetic field is created by E-shaped electromagnet with four pairs of sector shims located on cylindrical poles. The appropriate average magnetic field increase along radius is provided by rising of the angular extension of the sector shims from 30 to 41.8°. To guarantee high accuracy of isochronous field shaping, the valley shims were also used. The radial betatron oscillation frequency is close to unity. That is why the strict tolerance to the first harmonic field is required. The first harmonic amplitude of the magnetic field was found to be less than 3 Gs in the accelerating area.

The energy of ions from the external ECR ion source is equal to 3 keV/nucleon, the current of the proton beam measured by a Faraday cup placed at the beginning of the injection line is about  $3 \div 5 \mu\text{A}$ . The axial injection line contains ion guide, bending and analyzing magnet, focusing and adjustment elements, diagnostic devices and a sinusoidal buncher.

The spiral inflector for ion bending from axial to median plane is used. There is a possibility of inflector rotation by  $\pm 8^\circ$  to assure the fitting of ion trajectories from the inflector to the central region trajectories in radius and azimuth.

The fixed frequency RF accelerating system is used for ion acceleration in the CYTRACK cyclotron. The RF system consists of two quarter-wave cavities with dee electrodes. The available frequency can be varied from 18.25 to 18.6 MHz. The two  $45^\circ$  dees of the accelerating system are located in the opposite valleys of the magnetic system. The dee aperture is equal to 24 mm. Antidees are placed on each side of the dees. Figure 2 shows the ion motion at the centre of the cyclotron (computer modelling). Location and structure of the dees (D1, D2) and antidees (F) are presented.

ставлено расположение и структура дуантов (D1, D2) и противодуантных рамок (F), схематически изображены: корпус инфлектора (I), сектора магнита (S). Возбуждение ВЧ-резонаторов осуществляется от двух ВЧ-генераторов мощностью 15 кВт каждый.

Система вывода включает в себя две секции электростатического дефлектора (см. рис. 1) с угловой протяженностью 21° (ESD1) и 28° (ESD2), три измерительных пробника тока пучка (входной, промежуточный, выходной) и пассивный магнитный канал FD с угловой протяженностью 17°, предназначенный для радиальной фокусировки пучка в зоне вывода. Радиальная апертура дефлекторов 7,5 мм. Напряжение на дефлекторах может регулироваться от 0 до 53 кВ.

Рис. 2. Траектории ионов аргона в центре циклотрона

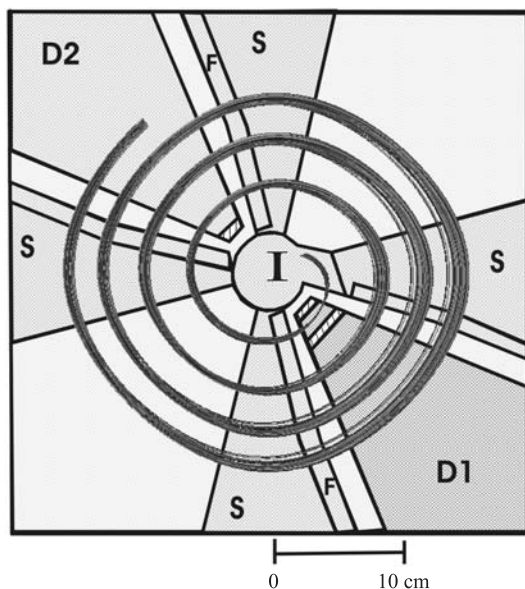


Fig. 2. The paths of argon ions at the centre of the cyclotron

Also inflector (I) and magnet sectors (S) are pointed. Two RF generators can deliver 15 kW each.

The extraction system consists of an electrostatic deflector with two sections ESD1 and ESD2 (angular length 21 and 28° correspondingly), three probes (at the entrance, in the middle and at the exit of the deflector) and passive magnetic channel FD with azimuth extension 17° for beam radial focusing in the extraction region. The radial deflector aperture is equal to 7.5 mm. The deflector voltage can be varied from 0 to 53 kV.

Автоматизация управления параметрами основных систем циклотрона организована на базе персонального компьютера с операционной системой WINDOWS 2000, управляющей набором блоков в стандарте КАМАК. Все контролируемые параметры технологических систем облучательного комплекса «Альфа» выводятся на экраны двух мониторов со сменными «панелями». На рис. 3 показан портрет пучка на мониторе управляющего компьютера с профилометра, расположенного в линии инжекции, расстояние между проволоками 5 мм.

После вывода из камеры циклотрона пучок транспортируется по вакуумному тракту, в котором предусмотрены: поворотный магнит, две квадрупольные лин-

Рис. 3. Профиль пучка на профилометре в линии инжекции

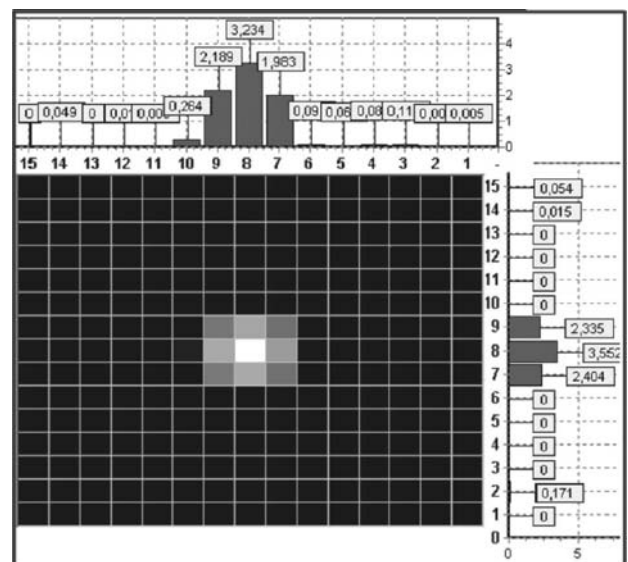


Fig. 3. The beam portrait on the monitor from the injection line profilometer

The cyclotron and related equipment are controlled by a personal computer with the operating system Windows 2000. The electronics of data acquisition is based on the CAMAC standard. All the irradiation complex parameters under control can be seen on the monitors with alternative interfaces. Figure 3 shows the beam portrait on the monitor from the injection line profilometer (distances between wires are equal to 5 mm).

Being extracted from the cyclotron, the beam is transported along the vacuum tract with bending magnets, two quadrupole lenses focusing the beam in horizontal and verti-

зы, фокусирующие пучок ионов в горизонтальном и вертикальном направлениях, корректирующий в вертикальном направлении магнит и сканирующее устройство, распределяющее ускоренные ионы по ширине облучаемой пленки.

Облучательное устройство состоит из вакуумной камеры со специальным лентопротяжным механизмом, обеспечивающим постоянную скорость протяжки пленки.

Рис. 4. Общий вид ускорителя и канала транспортировки выведенного пучка ускоренных ионов



Fig. 4. A general view of the cyclotron and extracted beam transport

cal directions, a vertical correcting magnet, and a scanning magnet that distributes the accelerated ions with the width of the film under irradiation.

ки в вертикальном направлении в интервале скоростей  $2 \div 80$  см/с.

Пуск облучательного комплекса «Альфа» состоялся в августе 2002 г. Были ускорены восьмизарядные ионы аргона до энергии 2,4 МэВ/нуклон с интенсивностью выведенного пучка 200 нА. Величина коэффициента вывода составляет  $\sim 50\%$ . В качестве проверки соответствия облучательного комплекса поставленным задачам было облучено около 5000 м полимерной пленки шириной 32 см и толщиной 12 мкм. Фирмой «Трекпор технолоджи» уже производятся установки для мембранного плазмофереза, обеспечивающие лечение различных заболеваний и получение донорской плазмы.

### Список литературы

1. Аленицкий Ю. Г. и др. Разработка и создание облучательного комплекса «Альфа» для производства трековых мембран. Препринт ОИЯИ Р9-2004-5. Дубна, 2004.

---

The irradiation device consists of a vacuum chamber with a tape drive ensuring constant velocity of the film vertical motion (in the range from 2 to 80 cm/s).

The film irradiation complex ALFA started working in August 2002. Argon ions were accelerated to the project energy of 2.4 MeV/nucleon, the extracted beam intensity was about 200 nA, the extraction efficiency totalled  $\sim 50\%$ . As a test, the ALFA complex has produced 5000 m polyethylene terephthalate track membranes 12  $\mu\text{m}$  in thickness and 32 cm in width. TRACKPORE TECHNOLOGY company now produces plasmapheresis apparatus for medical treatment and donor plasma separation.

### References

1. Alenitsky Yu. G. et al. Design and Manufacture of the Irradiation Complex ALFA for Track Membrane Production. JINR Preprint P9-2004-5. Dubna, 2004.