

5. Тернов И.М. Введение в физику спина релятивистских частиц. М.: Изд-во МГУ, 1997.
6. Bargmann V., Michel L., Telegdi V. // Phys. Rev. Lett. 1959. 2. P. 435.
7. Боголюбов Н.Н., Логунов А.А., Оксак А.И., Тодоров И.Т. Общие принципы квантовой теории поля. М.: Наука, 1987.
8. Широков Ю.М. // ЖЭТФ. 1951. 21. С. 748.
9. Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Квантовая электродинамика. М.: Наука, 1989.
10. Лобанов А.Е. // Вестн. Моск. ун-та. Физ. Астрон. 1997. № 2. С. 59 (Moscow University Phys. Bull. 1997. No. 2. P. 85).

Поступила в редакцию  
15.04.02

## АТОМНАЯ И ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА

УДК 621.384

### ИМПУЛЬСНЫЙ РАЗРЕЗНОЙ МИКРОТРОН НА ЭНЕРГИЮ ЭЛЕКТРОНОВ 70 МЭВ

И.В. Грибов, А.Н. Ермаков, Б.С. Ишханов, Г.А. Новиков, В.С. Скачков<sup>\*)</sup>,  
Н.П. Собенин<sup>\*\*)</sup>, В.П. Тровер<sup>\*\*\*)</sup>, В.И. Шведунов, И.В. Шведунов

(НИИЯФ; кафедра общей ядерной физики)

E-mail: a\_ermak@rf-hp.npi.msu.su

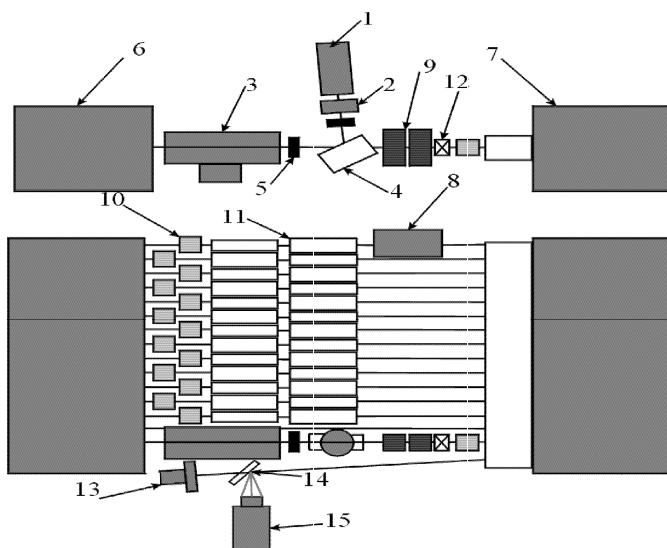
В предлагаемой статье представлено краткое описание построенного в НИИЯФ МГУ импульсного разрезного микротрона — ускорителя электронов нового поколения. Рассмотрены основные характеристики и элементы установки, а также указаны области возможного применения.

В НИИЯФ МГУ создан и в апреле 2001 г. осуществлен физический пуск ускорителя электронов — разрезного микротрона импульсного действия с максимальной энергией пучка 70 МэВ [1].

Основными элементами импульсного разрезного микротрона (рисунок) являются линейный уско-

ритель и поворотные магниты, обеспечивающие 14-кратную рециркуляцию электронного пучка.

Электроны инжектируются с катода пушки (1) на вход ускоряющей секции (3), проходя через группирователь (2), фокусирующие линзы (5) из намагниченного материала и  $\alpha$ -магнит (4), изготовленный из редкоземельных постоянных магнитов. После первого ускорения пучок электронов попадает в поворотный магнит (6), затем, проходя пространство дрейфа между магнитами (6, 7) и вертикальные и горизонтальные корректоры пучка (11), попадает в поворотный магнит (7). После прохождения через квадрупольную линзу (12) и систему дипольных корректоров (9) пучок вновь попадает в ускоряющую секцию. После 14-кратного прохождения через ускоряющую структуру энергия электронного пучка достигает 68.4 МэВ. Вывод пучка возможен с любой орбиты, кроме первой, и происходит в результате изменения траектории движения частиц под действием магнита вывода (8). Шаг изменения энергии выведенного пучка электронов составляет 4.8 МэВ. Для диагностики пучка на каждой орбите, кроме первой, установлены трансформаторные датчики тока пучка (10), а также на орбите вывода — цилиндр Фарадея (13). Для визуального наблюдения попе-



Схематическое изображение импульсного разрезного микротрона

<sup>\*)</sup> Институт теоретической и экспериментальной физики РАН.

<sup>\*\*)</sup> Московский инженерно-физический институт (Технический университет).

<sup>\*\*\*)</sup> World Physics Technologies Inc., USA.

речной формы пучка используется CCD-камера (15) и люминесцентный экран (14).

При создании ускорителя использован ряд новых разработок. Впервые в ускорительной технике созданы прецизионные поворотные магниты на основе редкоземельного постоянного магнитного материала с уровнем рабочего поля  $\sim 1$  Тл в рабочем объеме  $0.5 \times 0.25 \times 0.02$  м<sup>3</sup>. Нововведением является инжекция сгруппированного пучка через компактный  $\alpha$ -магнит, также созданный на основе постоянных магнитов. Впервые в электронных ускорителях применяется призматическая бипериодическая ускоряющая структура (ПБУС) [2]. В отличие от обычных аксиально-симметричных ускоряющих структур ПБУС имеет малые поперечные размеры, что позволяет решить проблему первой орбиты. Кроме того, данная структура обладает свойствами высоко-частотной квадрупольной фокусировки, величина и знак оптической силы которой зависят от соотношения геометрических размеров пролетного отверстия и размеров резонатора и от фазы СВЧ-поля. Питание ускоряющей структуры осуществляется от импульсного многолучевого клистрона, работающего в режиме автоколебаний. Наряду с оригинальной схемой СВЧ-питания все это позволило создать самый компактный в мире импульсный ускоритель электронов на энергию 70 МэВ. Основные параметры ускорителя, достигнутые к концу 2001 г., приведены в таблице.

В настоящее время выведен пучок с последней, 14-й орбиты. Его энергия составляет 68.4 МэВ при импульсном токе 4 мА. На ускорителе начаты первые физические эксперименты. Планируется провести фундаментальные исследования в области ядерной

#### Основные параметры импульсного разрезного микротрона НИИЯФ МГУ

Энергия инжекции	50 кэВ
Прирост энергии / оборот	4.8 МэВ
Число оборотов	14
Энергия на выходе	14.9–67.7 МэВ
Импульсный ток пучка при энергии 68.4 МэВ	4 мА
Увеличение длины орбиты / оборот	1 л
Рабочая частота	2.856 МГц
Длительность импульса	2–20 нкс
Максимальный коэффициент заполнения рабочего цикла	0.4%
Импульсная мощность клистрона, импульсная / средняя	6 МВт / 25 кВт
Поле поворотных магнитов	0.956 Т
Габаритные размеры	2.2 × 1.8 × 0.9 м
Масса	3200 кг

физики, изучение различных методов генерации электромагнитного излучения, медицинские исследования, и в частности наработку радиоактивных изотопов.

#### Литература

1. *Shvedunov V.I., Ermakov A.N., Karev A.I. et al.* 70 MeV Electron Racetrack Microtron Commissioning // Proc. of the 2001 Particles Accelerator Conference, Chicago, June, 2001.
2. *Shvedunov V.I., Ermakov A.N., Ermakov D.I. et al.* Rectangular Accelerating-Focusing Structures High Power Tests // Proc. of the 2000 European Particles Accelerator Conference, Vienna, May, 2000.

Поступила в редакцию  
03.04.02

## ГЕОФИЗИКА

УДК 551.465.7

### ЭНЕРГЕТИКА ФЕНОМЕНА ЭЛЬ-НИНЬО

Г.Г. Хунджуа, А.Б. Нелепо

(кафедра физики атмосферы)

E-mail: nelepo@mail.ru

**На основании модели формирования Тихоокеанского тропического бассейна рассчитана дополнительная энергия, аккумулированная в нем. Оценено максимальное число тропических циклонов, которые могут образоваться при поступлении в атмосферу во время действия Эль-Ниньо этой дополнительной энергии.**

Феномен Эль-Ниньо заключается в резком повышении температуры (на 5–9°C) поверхностного слоя воды на востоке тропической зоны Тихого океана на площади порядка  $10^7$  км<sup>2</sup>. Этот эффект быстрого нагрева предполагает наличие мощных и долгодействующих источников тепла.

Однако, согласно общепринятой модели радиационного и теплового баланса системы океан–атмосфера, приход и расход энергии в годовом цикле компенсируют друг друга. Следовательно, накопления энергии в годовом цикле тепломассообмена в системе нет. В частности, этим обеспечивается