

**Идея кильватерного ускорения.** Пространственный заряд релятивистского сгустка смещает плазменные электроны, а квантовые неподавляющие волны создают возмущающую силу. В результате возбуждается ленгмювская волна большой амплитуды (в плазме плотности  $n_e = 10^{20} \text{ см}^{-3}$  можно генерировать электрическое поле  $E_z$  до 3 ГэВ/м).

Релятивистские пучки инжекционного комплекса ВЭПП-5 могут быть использованы для создания плазменных волн с амплитудой продольного электрического поля масштаба 1 ГэВ/м. Часть электронного или позитронного сгустка, создающего волну, ускоряется в этом поле на длине до 1 м.

Главное достоинство проекта по сравнению с проводившимися ранее экспериментами по кильватерному ускорению заключается в системе подготовки пучка. Она позволяет продольно сжимать сгусток релятивистских частиц вплоть до размера 0,2 мм. Кроме того, имеется возможность формировать оптимальный продольный профиль плотности пучка.

# Проект эксперимента по кильватерному ускорению на инжекционном комплексе ВЭПП-5

А. В. Бурдаков, А. М. Кудрявцев, П. В. Логачев, К. В. Лотов, А. В. Петренко, А. Н. Скринский

Основные характеристики проектируемой установки:

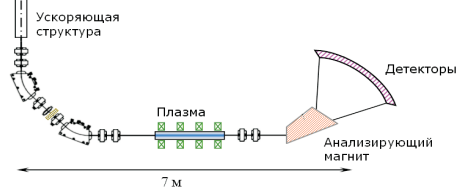
- энергия электронов до входа в плазму — 510 МэВ,
- число частиц в сгустке — до  $5 \cdot 10^{10} e^-$ ,
- плотность плазмы —  $10^{20} \pm 10^{21} \text{ см}^{-3}$ ,
- число ускоренных частиц — до  $10^{10}$ ,
- энергетический разброс ускоренных частиц — 15 %.

На данный момент эксперимент находится в стадии технического проектирования.



Планируемая экспериментальная установка состоит из трех основных частей:

- 1) Система подготовки пучка (инжекционный комплекс ВЭПП-5 + ускоряющая структура, поворотные магниты и линзы)
- 2) Плазменная секция (вакуумный сосуд под давлением  $\sim 1 \text{ Т}$ , разрядная камера с электродами, диагностика плазмы)
- 3) Диагностика пучка после плазмы (анализатор спектра, анализатор углового разброса)



Ленгмювскую волну большой амплитуды в плазме может создать один очень плотный и короткий сгусток релятивистских частиц с током в несколько килоампер, либо последовательность сгустков небольшой плотности.

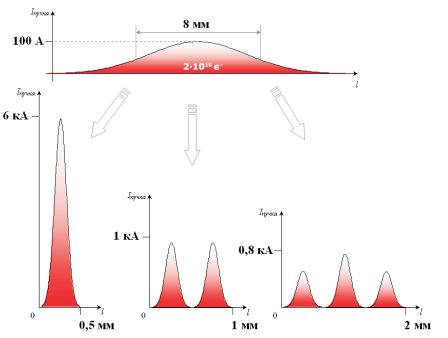
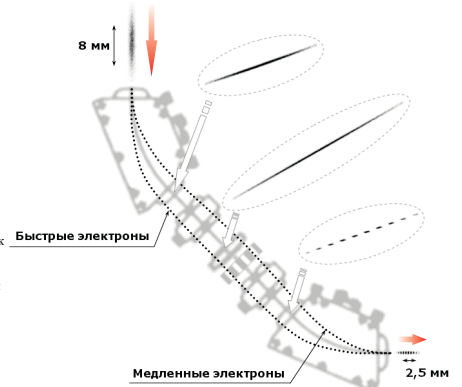
Для эффективного взаимодействия с плазмой пучок инжекционного комплекса ВЭПП-5 необходимо продольно сжать в несколько раз и разделить на две части: ведущую и ускоряемую.

Необходимые манипуляции производятся с пучком в повороте из двух магнитов. Перед этим сгусток электронов пролетает ускоряющую структуру в нулевой фазе электрического поля, для того, чтобы энергия частиц стала линейно связана с их продольным положением: хвостовые электроны замедляются, а головные ускоряются на несколько процентов от средней энергии.

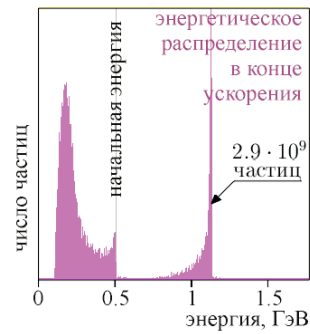
Благодаря регулярному энергетическому разбросу электроны из разных частей сгустка летят в магнитном поле по существенно отличающимся траекториям.

Частицы из хвоста пучка имеют меньшую энергию и сильнее отклоняются в магнитном поле, чем головные частицы. Разность пути электронов в повороте дает возможность управлять длиной сгустка. Кроме того, между магнитами в промежутке с постоянной дисперсией установлен коллиматор (набор металлических пластин). Он вырезает из пучка заданные части, что в итоге приводит к продольной модуляции плотности релятивистского тока.

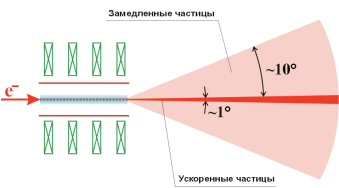
Таким образом можно получить последовательность коротких и плотных сгустков, интересных с точки зрения кильватерного ускорения.



## Ожидаемые результаты



- Демонстрация эффективного режима кильватерного ускорения
- Рекордный набор энергии (1 ГэВ на 1 м)
- Достижение новой области параметров
- Проверка кодов для расчета динамики пучка в плазме
- Отработка техники приготовления драйвера
- Демонстрация коллективного рассеяния пучка
- Исследование плазменной линзы
- Исследование ленгмювских колебаний
- Исследование ленгмювской турбулентности



Моделирование взаимодействия пучка с плазмой показало, что электронный сгусток после прохождения сквозь плазму разделяется на две части: ускоренную и замедленную. Частицы из головы пучка замедляются и отдают свою энергию хвостовой части. Ускоренные электроны имеют угловой разброс  $\sim 1^\circ$ , замедленные  $\sim 10^\circ$

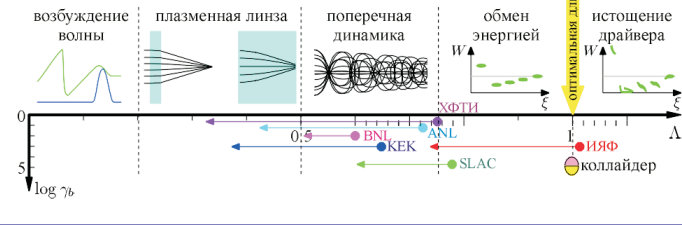
## Достижение новой области параметров

Мера достижимого физического режима:  $\Lambda(L) = \frac{\ln(L\omega_p/c)}{\ln(\gamma_b E_0/E)}$   
 ( $L$  — длина плазмы,  $E$  — максимальное ускоряющее поле)

Для  $\sigma_r \sim \sigma_z \sim c/\omega_p$ :  $L_d \sim \gamma_b \frac{cE_0}{\omega_p E}$ ,  $\Lambda(L_d) \approx 1$ ,

$\Lambda(c/\omega_p) = 0$ ,  $L_f \sim \sqrt{\frac{\gamma_b E_0}{E}} \frac{c}{\omega_p}$ ,  $\Lambda(L_f) \approx 0.5$ .

наилучший экспериментальный результат  
 1 порядок по  $L$



0,5 БНЛ КЕК АНЛ ИЯФ коллайдер