

Принцип 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:

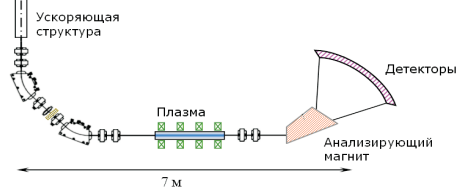
- энергия электронов до входа в плазму — 510 МэВ,
- число частиц в сгустке — до $5 \cdot 10^{10} e^-$,
- плотность плазмы — $10^{20} \pm 10^{21} \text{ см}^{-3}$,
- число ускоренных частиц — до 10^{10} ,
- энергетический разброс ускоренных частиц — 15 %.

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 (лазерный сгусток на поле $\sim 1 \text{ Т}$, 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.

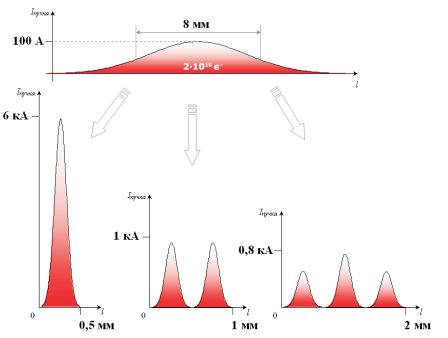
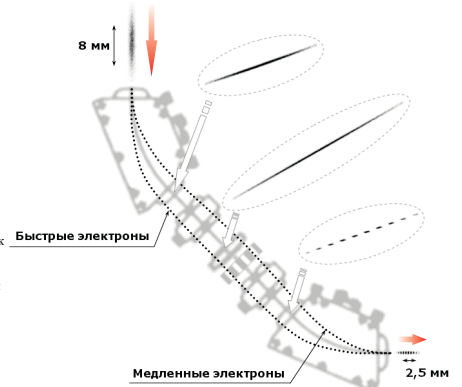
Для эффективного взаимодействия с плазмой пучок инжекционного комплекса ВЭПП-5 необходимо продольно сжать в несколько раз и разделить на две части: ведущую и ускоряемую.

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.

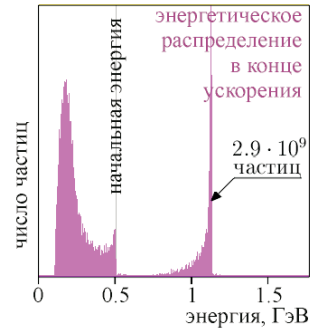
Благодаря регулярному энергетическому разбросу электроны из разных частей сгустка летят в магнитном поле по существенно отличающимся траекториям.

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.

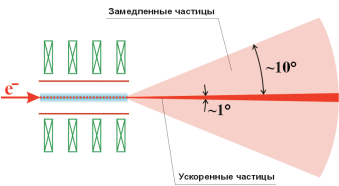
Таким образом можно получить последовательность коротких и плотных сгустков, интересных с точки зрения кильватерного ускорения.



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

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

наилучший экспериментальный результат
 1 порядок по L

