

10/v-71

B-225

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P9 - 5714

1497/2-71

5714



ЛАБОРАТОРИЯ НЕЙТРОННОЙ ФИЗИКИ

Ю.П. Вахрушин, Н.И. Иванова, О.Л. Комаров,
В.С. Кузнецов, И.М. Матора, Л.А. Меркулов,
М.А. Никольский, Р.П. Фидельская, И.И. Шелонцев

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ВЫБОРА
И РАСЧЕТА ФОКУСИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ
ЛИНЕЙНОГО ИНДУКЦИОННОГО
УСКОРИТЕЛЯ НА 30 МЭВ

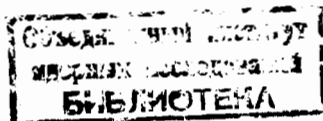
1971

Р9 - 5714

Ю.П. Вахрушин, Н.И. Иванова, О.Л. Комаров,
В.С. Кузнецов, И.М. Матора, Л.А. Меркулов,
М.А. Никольский, Р.П. Фидельская, И.И. Шелонцев

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ВЫБОРА
И РАСЧЕТА ФОКУСИРУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ
ЛИНЕЙНОГО ИНДУКЦИОННОГО
УСКОРИТЕЛЯ НА 30 МЭВ

Направлено в ЖТФ



В в е д е н и е

Проблема удержания радиального размера ускоряемого в ЛИУ мощного электронного пучка приобретает все большую актуальность в связи с наметившейся тенденцией к значительному повышению конечной энергии электронов ^{/1,2/} и частоты следования импульсов. Так, в ЛИУ-30 ^{/2,3/} энергия электронов на выходе составит 30 Мэв, частота следования импульсов - 50 гц и длительность импульса - 0,5 мксек, что соответствует средней мощности пучка на выходе 200 квт. В связи с этим недопустимы потери пучка в этом ускорителе даже на уровне одного или нескольких процентов.

Удержание радиального размера пучка в ЛИУ-30 будет осуществляться аксиальным магнитным полем. Однако характер распределения этого поля в наиболее трудной для удержания так называемой инжекторной части ускорителя существенно отличается от характера распределения в остальной его части. Поле в инжекторной части до достижения электронами энергии 2,5-3,5 Мэв существует на всем ее протяжении ^{/4/}, исключая небольшие разрывы, предназначенные для от качки камеры и расположения средств наблюдения за пучком. Удержание при дальнейшем ускорении возможно с помощью коротких магнитных соленоидов, расположенных или между секциями, или в пределах индукторных секций.

В данной работе излагаются результаты расчётов удержания радиального размера пучка в ЛИУ-30 во время следования рабочей части ускоряющего импульса в предположении ламинарности потока электронов. Рассмотрение вопроса об удержании пучка во время следования фронта и спада импульса дано в /5/.

Уравнения

Строго говоря, был проделан расчёт граничных траекторий стационарного ламинарного электронного потока в ЛИУ в паракиральном приближении. Краевые эффекты, имеющие место на фронте и спаде импульса тока, в работе игнорировались. В указанных предположениях уравнение граничной траектории пучка в цилиндрической системе координат с осью z , совпадающей с осью пучка, может быть записано /6/ или в виде

$$r'' + \frac{\gamma\gamma'}{\gamma^2 - 1} r' + \frac{r}{4(\gamma^2 - 1)} \left[2\gamma\gamma' + \left(\frac{eH}{E_0} \right)^2 \right] - \frac{2eI}{cE_0(\gamma^2 - 1)^{3/2}} \frac{1}{r} = 0, \quad (1)$$

или в виде (см. /5/)

$$\psi'' + \frac{\psi}{4(\gamma^2 - 1)} \left[\frac{\gamma^2 + 2}{\gamma^2 - 1} \gamma'^2 + \left(\frac{eH}{E_0} \right)^2 \right] - \frac{2eI}{cE_0(\gamma^2 - 1)} \frac{1}{\psi} - \frac{M^2}{\psi^3} = 0, \quad (2)$$

где

$$\psi = \sqrt{\beta\gamma} r = \sqrt{\gamma^2 - 1} r, \quad \gamma = \frac{E}{E_0} = \frac{I}{\sqrt{1 - \beta^2}}, \quad \beta = \frac{v}{c}, \quad (|\vec{v}| = v_z = v),$$

I - полный ток пучка в импульсе,

$$M = \frac{\gamma_0}{c} r_0^2 \dot{\phi}_0 - \frac{e}{2 E_0} r_0^2 H_0, \quad (3)$$

штрих обозначает дифференцирование по z . Численно интегрировались на ЭВМ как уравнение (1), в котором начальное замагничивание пучка отсутствовало, так и уравнение (2), эквивалентное (1), но здесь рассматривается и случай $M \neq 0$.

Для (1) были взяты следующие начальные данные: $E_{\text{вх}} = 809$ кэВ, $r_{\text{вх}} = 1,5$ см и $r'_{\text{вх}} = -0,0028$. Последняя цифра соответствует частному решению (1) для случая однородного H [6].

Решение (2) выполнялось при $y_{\text{вх}} = 1,6$; $r_{\text{вх}} = 1,5$ см и $r'_{\text{вх}} = 0$.

В качестве критерия приемлемости выбранного распределения удерживающего магнитного поля $H(z)$ было принято условие, чтобы отклонение граничной траектории от оси нигде не превосходило 2,2 см, а разница между r_{max} и r_{min} была малой.

Результаты расчётов

Решение (1) и (2) с указанными начальными данными и с учётом указанного выше требования $r(z) \leq 2,2$ см приводит к необходимому распределению $H(z)$, которое изображено на рис. 1.

Конструктивно удерживающее поле в инжекционной части так же, как и в ЛИУ-3000^{/4/}, будет создаваться катушками, устанавливаемыми внутри каждого индуктора.

Оказалось, что промежутки между секциями этой части ускорителя, в которых $H=0$, пучок проходит, недопустимо расширяясь. В связи с этим в промежутках пришлось установить короткие соленоиды. Последние существенно облегчили проведение пучка.

Подбор оптимального распределения полей $H(z)$ как при решении (1), так и (2) был сделан для случая отсутствия начального замагничивания пучка.

После этого путем варьирования желаемого единственного параметра исследовались допустимые отклонения параметров ускорителя, совместимые с возможностью проведения ламинарного пучка без потерь на рабочей части импульса ускоряющего напряжения.

Для обоих вариантов расчёта и обоих полученных вариантов

$H(z)$ допуски на параметры оказались близкими, что иллюстрируется таблицей.

Таблица

Единица измерения		Пределы изменения одного параметра при номинальных значениях остальных	
		Вариант А	Вариант Б
H	%	$(-7) + (8)$	$+5$
y'	%	$(-8) + (16)$	$(-10) + (-12)$
$E_{вх}$	%	$(-11) + (9)$	$+10$
T	%	$+28$	$+28$
$r_{вх}$	%	$+7$	$+5$
$r'_{вх}$	радиан	$+0,025$	$+0,025$

Фактические же допуски, которые следует обеспечивать для параметров (имея в виду, что работа ускорителя будет сопровождаться одновременно происходящими изменениями не одного, а нескольких или даже всех параметров сразу), будут более жесткими. Чтобы оценить их, просчитывался процесс ускорения при наиболее вероятном пропорцио-

нальном изменении параметров ускорителя, связанных линейной зависимостью с напряжением питающей сети (напряженность магнитного поля, энергия инжекции в предположении одновременного с ней изменения тока пучка по закону $3/2$, напряженность вихревого ускоряющего поля). В этом случае изменение указанных параметров на $\pm 5\%$ не сопровождается возникновением потерь. В действительности возможно и произвольное изменение параметров, вследствие чего допуски нами были взяты примерно на порядок более жесткими, чем это указано в таблице. Диаметр пучка на вершине рабочей части импульса при этом оказывается на всем протяжении ускорителя малым (< 5 см).

С помощью решения (2) был рассмотрен вопрос о возможности размещения катода в области не равной нулю аксиально-симметричного магнитного поля \vec{H} ($H_r, 0, H_z$).

Оказалось, что при оптимальном распределении удерживающего $H(z)$, полученного в случае $M=0$, допустимо и ускорение при $H_0 \leq 30$ э. Дальнейшее повышение последнего из-за возрастания центробежного эффекта требует резкого увеличения напряженности удерживающего поля, но, как показали расчёты, удовлетворительное прохождение пучка все еще возможно при соответствующей коррекции полей в линзах и при $H_0 \approx 50$ э.

Был также рассмотрен вопрос о допустимых продольных смещениях удерживающих соленоидов. Оказалось, что смещения в очень широких пределах (от ± 10 см в начале и ± 4 м в конце ускорителя) не вызывают заметных потерь пучка.

Расчёт показал, что удержание токов пучка, существенно меньших номинального, не вызывает затруднений, если одновременно с током все удерживающие магнитные поля изменять по закону

$$H = H_{\text{ном.}} \sqrt{\frac{I}{I_{\text{ном.}}}}, \quad (4)$$

который вытекает из уравнений (1) и (2).

З а к л ю ч е н и е

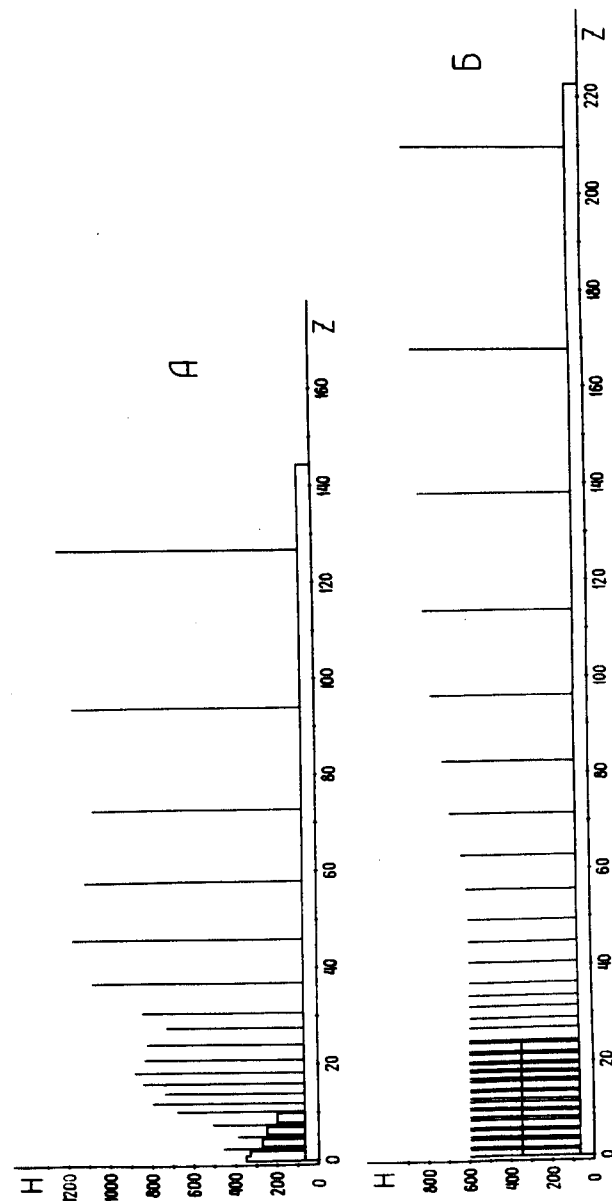
Основной результат описанных выше расчётов состоит в том, что, если пучок в ЛИУ ламинарен, то его удержание во время следования рабочей части импульса с помощью аксиально-симметричных магнитных полей легко осуществимо. Допуски на параметры ускорителя оказываются не жесткими. В [5] показано, что потери ламинарного пучка на фронте и спаде импульса также можно свести до допустимого уровня, должным образом сформировав импульс инжектируемых пушкой электронов.

В действительности пучок может оказаться не ламинарным. В этом случае возникнут потери большие, чем здесь предсказывается. Поэтому в ускорителе предусматриваются меры для получения потока электронов в пучке, близкого к ламинарному.

Л и т е р а т у р а

1. Saunders, A. Kenneth. UCRL-71568, mar. 27, 1969, p.12.
2. В.Д. Ананьев и др. Препринт ОИЯИ, 13-4392, Дубна, 1969.
3. В.Д. Ананьев, Д.И. Блохинцев, Б.Н. Бунин, Л.К. Кулькин, И.М. Матора, В.М. Назаров, В.Т. Руденко, И.М. Франк, Е.П. Шабалин, Ф.Л. Шапиро, Ю.С. Язвицкий. Препринт ОИЯИ, 13-4395, Дубна, 1969.
4. А.И. Анацкий, О.С. Богданов, П.В. Букаев, Ю.П. Вахрушин, И.Ф. Малышев, Г.А. Наливайко, А.И. Павлов, В.А. Суслов, Е.П. Хальчицкий. АЭ, 21, 6, 439 (1966).
5. И.М. Матора, Л.А. Меркулов, И.И. Шелонцев. Препринт ОИЯИ, Р9-5268, Дубна, 1970.
6. Ю.П. Вахрушин, В.С. Кузнецов. ЖТФ, XXXIX, вып. 3, 506 (1989).

Рукопись поступила в издательский отдел
26 марта 1971 года.



Распределение фокусирующего магнитного поля H [э] вдоль длины ускорителя Z [м]. А - вариант, соответствующий расчёту по (2). Б - вариант, соответствующий расчёту по (1).