

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ УСКОРЕНИЯ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ В ГЛАДКИХ ВОЛНОВОДАХ БЫСТРЫМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ВОЛНАМИ В НАРАСТАЮЩЕМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Ю. В. ПАНИЧКИН, Е. Т. ПРОТАСЕВИЧ, Ю. Г. ШТЕЙН

(Представлена семинаром сектора СВЧ и ТУ НИИ ЯФ)

Существующие методы ускорения заряженных частиц бегущей электромагнитной волной предполагают наличие продольной составляющей электрического поля и синхронизм между скоростью частицы и фазовой скоростью волны. Стремление снизить фазовую скорость электромагнитной волны до скорости, меньшей или равной скорости света, приводит к созданию сложных замедляющих структур. Поэтому представляет интерес исследовать ускорение заряженных частиц в гладких волноводных системах, когда не происходит замедление электромагнитной волны.

В [1—3] рассмотрен авторезонансный метод ускорения, при котором взаимодействие между заряженной частицей и электромагнитной волной осуществляется при наложении внешнего постоянного продольного магнитного поля. Экспериментальные исследования этого метода показали, что ускорение частиц в поле волны типа H в гладком волновом проводе происходит на ограниченном участке вдоль волновода, после чего наблюдается торможение частиц [4]. Для получения режима непрерывного ускорения частиц в работе [5] было предложено создать пространственно неоднородное магнитное поле. Теоретические исследования такого метода ускорения проведены в [6—7].

В данной статье дано описание экспериментальной установки, позволяющей исследовать ускорение электронов волной типа H_{10} в прямоугольном гладком волновом проводе десятисантиметрового диапазона длин волн при наложении внешнего неоднородного магнитного поля.

На рис. 1 и 2 приведены расчетные кривые, полученные по формулам работы [7] для определения значений магнитного поля в начале H_{zn} и в конце H_{zs} ускорения и длины ускоряющего участка z в зависимости от фазовой скорости волны $v_{\phi} = \beta_{\phi} c$ при различных значениях начальной γ_n и конечной γ_s энергий частиц. ($\gamma_n = \frac{\epsilon_n}{m_0 c^2}$, $\gamma_s = \frac{\epsilon_s}{m_0 c^2}$, где ϵ_n — энергия инъекций, ϵ_s — энергия на выходе ускорителя, m_0 — масса покоя частицы, c — скорость света).

Из рис. 2 видно, что при $z = \text{const}$ энергия частиц увеличивается с ростом напряженности электрического поля, где $e_0 = \frac{eE}{m_0 c^2}$. Поэтому для создания большой напряженности СВЧ мощность направлялась с выхода ускоряющего волновода на его вход [8]. Такую систему, состоящую

из ускоряющего волновода 3 с петлей обратной связи 5 (рис. 3), можно рассматривать как резонатор бегущей волны (РБВ) [8].

РБВ позволил увеличить мощность бегущей волны в ускоряющем волноводе в 8 раз. При мощности магнетронного генератора 1400 кВт напряженность электрического поля достигала $20 \div 23$ кВ/см.

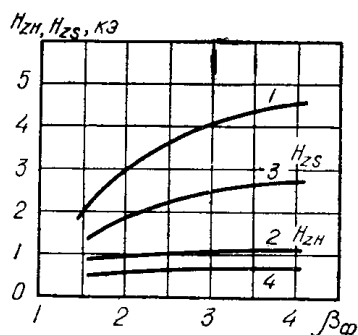


Рис. 1. Зависимости внешнего магнитного поля от фазовой скорости волны для различных значений начальной энергии частиц и $\gamma_s = 6$: 1 — 2 — $\gamma_H = 1,13$; 3 — 4 — $\gamma_H = 1,33$.

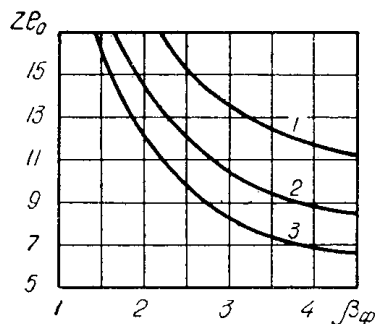


Рис. 2. Зависимости изменения длины ускоряющего участка от фазовой скорости волны для различных значений энергии инжектируемых электронов и $\gamma_s = 6$: 1 — $\gamma_H = 1,13$; 2 — $\gamma_H = 1,2$; 3 — $\gamma_H = 1,33$.

В режиме ускорения электронный пучок нагружал ускоряющий волновод и изменял параметры резонатора, что приводило к рассогласованию резонатора с питающим трактом. Поэтому для более оптимального согласования был установлен регулируемый направленный ответвитель 7.

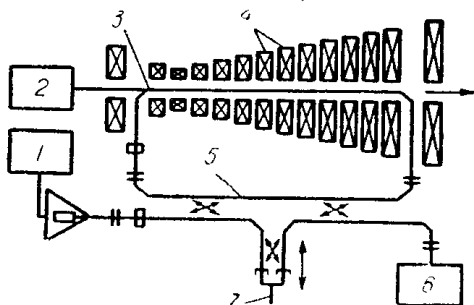


Рис. 3. Схема экспериментальной установки: 1 — вакуумный насос, 2 — инжектор, 3 — ускоряющий волновод, 4 — секции соленоида, 5 — направленный ответвитель, 6 — генератор, 7 — фазовращатель.

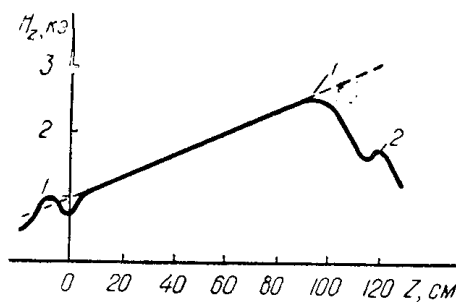


Рис. 4. Распределение внешнего магнитного поля вдоль ускоряющего волновода: 1 — требуемое, 2 — экспериментальное.

Магнитное поле создавалось с помощью соленоида, состоящего из 15 секций, соединенных последовательно. Число витков в каждой секции изменялось пропорционально изменению напряженности магнитного поля вдоль ускоряющего волновода. Распределение магнитного поля по оси соленоида показано на рис. 4. Два провала объясняются наличием зазоров между секциями, которые необходимы для размещения РБВ. Соленоид запитывался от источника постоянного тока. Величина напряженности магнитного поля могла плавно регулироваться в пределах от 0,5 до 2,0 кэ в начале ускоряющего участка, но при этом отношение на-

пряженностей в начале и конце ускоряющего волновода оставалось неизменным $\frac{H_{zs}}{H_{zn}} = 3,125 = \text{const.}$

Инжекция электронов осуществлялась из электронной пушки напряжением от 20 до 120 кВ.

Весь высокочастотный тракт откачивался диффузионными насосами до давления $7 \cdot 10^{-6} \div 2 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст. Ускоренные электроны, попадая на стенки волновода в конце ускоряющего участка, создавали направленное по длине ускорителя рентгеновское излучение, которое контролировалось с помощью рентгенометра типа СП-1М. Максимальное излучение наблюдалось при определенной величине магнитного поля и максимальной СВЧ мощности, вводимой в резонатор бегущей волны. При последовательном отключении секций соленоида с конца ускорителя наблюдалось уменьшение рентгеновского излучения. Зависимость мощности рентгеновского излучения от длины области магнитного поля показана на рис. 5. Отсюда видно, что ускорение электронов происходит по всей длине ускоряющего волновода.

В настоящее время проводится работа по выводу ускоренного пучка электронов и определению его параметров.

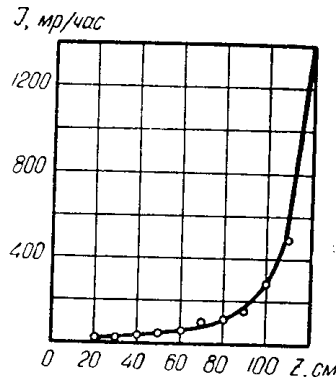


Рис. 5. Зависимость величины излучения от длины внешнего магнитного поля.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Коломенский, А. Н. Лебедев. Докл. АН СССР, **145**, 1259, (1962).
2. А. А. Коломенский, А. Н. Лебедев. ЖЭТФ, **44**, 261 (1963).
3. В. Я. Давыдовский. ЖЭТФ, **43**, 886 (1962).
4. А. А. Воробьев, А. Н. Диденко, А. П. Ишков, А. А. Коломенский, А. Н. Лебедев, Ю. Г. Юшков. «Атомная энергия», **22**, вып. I (1967).
5. А. А. Коломенский, А. Н. Лебедев. В кн.: Труды международной конференции по ускорителям. (Дубна, 1963). М., Атомиздат, 1964, стр. 1030.
6. В. С. Воронин, В. К. Кононов. ЖТФ, **40**, вып. 1 (1970).
7. А. Н. Диденко, В. К. Кононов. «Атомная энергия», **30**, вып. 1 (1971).
8. А. Н. Диденко, Г. П. Фоменко. «Радиотехника и электроника», **16**, 6, (1971).