

РАКИТЯНСКИЙ

Александр Александрович

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ЭФФЕКТОВ АВТОУСКОРЕНИЯ
ИНТЕНСИВНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА
В ФЕРРИТОВЫХ СТРУКТУРАХ

Специальность 01.04.01 - экспериментальная физика

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Работа выполнена в Харьковском ордена Ленина физико-техническом институте Академии наук Украинской ССР.

Научный руководитель:

доктор физико-математических наук Александр Маркович ШЕНДЕРОВИЧ
старший научный сотрудник

Официальные оппоненты:

доктор физико-математических наук Владислав Павлович САРАНЦЕВ
профессор

кандидат физико-математических наук Виктор Васильевич ПЕТРЕНКО
старший научный сотрудник

Ведущее научно-исследовательское учреждение:

Научно-исследовательский институт ядерной физики (Томск)

Автореферат разослан " _____ 1979г.

Защита диссертации состоится " _____ 1979г.

в " _____ " час. на заседании специализированного совета

Д-047.01.02 при Лаборатории высоких энергий Объединенного института ядерных исследований, Дубна Московской области, Лаборатория высоких энергий ОИЯИ, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЛВЭ ОИЯИ.

Ученый секретарь

специализированного совета

М.Ф. Дыхачев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Для решения ряда проблем современной науки и техники всё более широкое применение находят сильноточные электронные пучки. В последние годы в СССР и за рубежом были предложены и исследованы методы автоускорения таких пучков, не имеющие ограничений по энергии частиц, свойственных прямым методам ускорения. Одним из перспективных методов автоускорения является ускорение при прерывании интенсивного электронного пучка в ферритовых структурах. Особенно богаты возможности в этом отношении открывает метод, основанный на ударном возбуждении свободной однородной прецессии магнитного момента в гиротропном феррите.

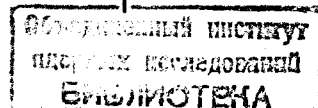
Анализ приведенных в литературе данных показывает, что в экспериментальном плане этот метод разработан недостаточно. Так, до проведения исследований, составивших предмет настоящей диссертации, не было осуществлено ни одного эксперимента по автоускорению при ударном возбуждении пучком ферритовой структуры. Поэтому экспериментальные исследования в этом направлении являются весьма актуальными.

Состояние исследуемого вопроса и цели работы. Метод автоускорения электронного пучка был предложен в 1971 г. и в дальнейшем теоретически развит в лаборатории проблем новых ускорителей ФИ АН СССР (Москва).^{*} Экспериментально возможность автоускорения пучка была показана в ХФТИ (1973 г., Харьков),^{**} в ФИ АН СССР (Москва), НИИЯФ ТПИ^{***}

* Казанский Л.Н., Кислицев А.В., Лебедев А.Н. АЭ, 1971, т.30, вып. 1, с. 27-31.

** Насонов Н.Н., Шендерович А.М. Украинск. физ. журн., 1976, т.21, вып. 4, с.667-678.

*** Коломенский А.А. I Симпозиум по коллективным методам ускорения. ОИЯИ, Д9-6707, Дубна, 1972, с.79-91.



^ж (Томск), в Морской исследовательской лаборатории (Вашингтон). В этих и последующих экспериментах по автоускорению сильнооточного электронного пучка максимальная энергия ускоренных электронов превышала их начальную энергию в 2-3 раза, что хорошо согласуется с теорией. Получение существенно большего приращения энергии частиц таким методом возможно при осуществлении эффективного удаления электронов, потерявших энергию на возбуждение ускоряющей системы.

Ещё в 1959 г. для ускорения частиц в плазме был предложен метод (ФИ АН СССР), являющийся, по существу, вариантом автоускорения, не требующим удаления электронов, потерявших энергию. В этом варианте индукционное ускоряющее электрическое поле создаётся при прерывании тока пучка. Автоускорение при прерывании пучка в вакуумных структурах впервые было осуществлено и экспериментально исследовано в ХФТИ АН УССР (1973 г.)^{жж}. В этих экспериментах, в частности, при токе пучка 850 А максимальная энергия ускоренных электронов более чем в три раза превышала их начальную энергию, равную 110 кэВ. В последнее время появилось сообщение о предварительном эксперименте по автоускорению при прерывании сильнооточного электронного пучка, проводимом в Морской исследовательской лаборатории (Вашингтон).

В НИИЯФ Томского политехнического института (1966 г.) и ФИ АН СССР (1971 г.)^{жжж} было предложено использовать для автоускорения (путем прерывания пучка) структуры, заполненные ферритом. При определённых условиях автоускорение пучка в ферритовых структурах является более эффективным, чем в вакуумных. Особенно перспективным

является предложенный (1971 г.) и исследованный теоретически и экспериментально в ХФТИ АН УССР^ж метод ускорения с использованием гиротропных свойств феррита. Экспериментально автоускорение пучка в ферритовой структуре (феррит намагничивался до насыщения) было осуществлено вследствие развития продольной неустойчивости пучка в ХФТИ АН УССР (1975 г.)^{жж}.

Цели данной работы следующие:

1. Осуществить и экспериментально исследовать автоускорение при прерывании интенсивного электронного пучка в структурах, заполненных как гиротропным, так и ненасыщенным ферритом.
2. Провести экспериментальное исследование процессов развития продольной неустойчивости интенсивного электронного пучка при его взаимодействии с ферритом.

Для достижения указанных целей автором был проведен расчёт и разработана методика экспериментов по автоускорению при прерывании электронного пучка в ферритовых структурах. Созданы и экспериментально исследованы ферритовые структуры, обеспечивающие эффективное автоускорение пучка. Проведено экспериментальное исследование эффектов автоускорения пучка в этих структурах.

Н а у ч н а я н о в и з н а р е з у л ь т а т о в. Впервые осуществлено и экспериментально исследовано автоускорение пучка путём ударного возбуждения свободной прецессии магнитного момента в гиротропном феррите. Впервые осуществлено и экспериментально исследовано автоускорение при прерывании пучка в структуре, заполненной ненасыщенным ферритом. Получены новые экспериментальные данные о развитии продольной неустойчивости пучка, вза-

* Ракицкий А. А., Шендерович А. М. I Симпозиум по коллективным методам ускорения. ОИЯИ, Д9-6707, Дубна, 1972, с. 129-132.
жж Закутин В. В. и др. АЗ, 1976, т. 40, вып. I, с. 59-60.

* Диденко А. Н. и др. Журн. техн. физ., 1977, т. 47, вып. 5, с. 1024-1028.

жж Гришаев И. А. и др. Журн. техн. физ., 1974, т. 44, вып. 8, с. 1743-1748.

жжж Башмаков В. А. и др. Краткие сообщения по физике. ФИ АН СССР, М., 1971, № 5, с. 10-14.

имеющего с ферритом. Разработана оригинальная методика регулировки рабочей точки на кривой намагничивания феррита, обеспечивающая выбор оптимальных условий для автоускорения пучка. Оригинальность этой методики защищена авторским свидетельством на изобретение.

Научная и практическая ценность работ. Получены новые экспериментальные данные, позволившие установить основные закономерности процессов автоускорения при прерывании пучка в ферритовых структурах. При токах пучка в сотни ампер достигнута напряжённость ускоряющего поля 500 кВ/м, и показаны перспективы её дальнейшего повышения. Полученное приращение энергии электронов существенно превышало их начальную энергию.

Названные оригинальные результаты в совокупности с полученными новыми данными о развитии продольной неустойчивости пучка в ферритовых структурах могут быть использованы для практической реализации исследованного метода ускорения интенсивного электронного пучка.

Разработанный автором метод регулировки рабочей точки на кривой намагничивания феррита в настоящее время используется в УФИИ АН УССР и может быть применен в ускорителях различного типа с ферромагнитными ускоряющими структурами.

Основные результаты и положения, представленные к защите.

I. Осуществлено и экспериментально исследовано автоускорение путём ударного возбуждения (задним фронтом импульса тока интенсивного электронного пучка) свободной прецессии маг-

нитного момента в гиротропном феррите. При относительно малых токах пучка (сотни ампер) получена сравнительно большая напряжённость ускоряющего поля. Получено приращение энергии электронов, существенно превышающее их начальную энергию.

2. Осуществлено и экспериментально исследовано автоускорение при прерывании интенсивного электронного пучка в структуре с ненасыщенным ферритом. Получена сравнительно высокая эффективность автоускорения пучка уже при токах в сотни ампер.

3. Проведено экспериментальное исследование процессов развития продольной неустойчивости интенсивного электронного пучка в ферритовых структурах, накладывающих физические ограничения на возможности методов автоускорения при прерывании тока пучка.

4. Разработана и экспериментально исследована оригинальная методика регулировки рабочей точки на кривой намагничивания феррита для выбора оптимальных условий в процессе автоускорения пучка.

Апробация работы и публикации. По материалам диссертационной работы сделано 5 докладов на Международных и Всесоюзных конференциях: 2-м Симпозиуме по коллективным методам ускорения (Дубна, 29 сентября - 2 октября 1976 г.), 10-й Международной конференции по ускорителям заряженных частиц высоких энергий (Протвино, июль 1977 г.), 4-м Всесоюзном семинаре по линейным ускорителям (Харьков, июнь 1976 г.) и 5-м Всесоюзном семинаре по линейным ускорителям (Харьков, июнь 1977 г.). Основное содержание диссертации опубликовано в 10 печатных работах.

Структура и объем диссертации. Работа изложена на III машинописных страницах и состоит из введения, трёх глав, заключения, приложения и списка литературы, содержащего 90 библиографических наименований на 13 страницах. Диссертация иллюстрирована 32 рисунками.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении (первом разделе) освещено современное состояние проблемы автоускорения сильноточного электронного пучка, сформулированы вопросы, составившие предмет исследования данной диссертации, и приведены основные результаты, полученные в каждом из её разделов.

Второй раздел посвящён экспериментальному исследованию автоускорения при прерывании интенсивного электронного пучка в цепочке цилиндрических резонаторов, заполненных ненасыщенным ферритом.

Проведен расчёт эксперимента, позволивший выбрать основные параметры инжектируемого пучка и ускоряющей структуры, что обеспечивает эффективное автоускорение частиц пучка.

Импульс тока пучка пилообразной формы (с длинным передним и коротким задним фронтами) формировался непосредственно в сильноточной электронной пушке с холодным катодом. Энергия электронов на входе в ферритовую ускоряющую структуру составляла 100 кэВ, величина тока пучка регулировалась в диапазоне 50-250 А, длительность переднего фронта импульса тока пучка равнялась 50-100 нс, заднего - 8 нс.

Ускоряющая структура представляла собой цепочку из 40 цилиндрических резонаторов (общей длиной 0,8 м), заполненных ненасы-

щенными ферритовыми кольцами. Внешний радиус цилиндрических резонаторов и колец из феррита марки 60НН составлял 9 см, внутренний - 3 см.

В эксперименте параметры импульса тока пучка измерялись резистивными датчиками, выполненными в виде пояса из сопротивлений типа УЛИ; временное разрешение датчиков не хуже 1 нс. Измерение энергии ускоренных электронов производилось методом поглощения в фольге. Напряжение на каждом отдельном резонаторе, возбуждаемом пучком при его прерывании, измерялось с помощью омического делителя.

Для выбора в эксперименте оптимальных условий, обеспечивающих наибольший эффект автоускорения электронов, была разработана и экспериментально исследована оригинальная методика регулировки положения рабочей точки на кривой намагничивания феррита. Сущность этой методики состоит в следующем. Внутри отверстий в ферритовых кольцах коаксиально соленоиду, служащему для фокусировки пучка, вдоль всей его длины располагается второй соленоид с противоположным первому направлением намотки спирали. Если теперь соленоиды подключить к источнику питания навстречу друг другу, то, очевидно, азимутальные составляющие магнитного поля соленоидов будут вычитаться, а продольные складываться. Пропуская по обмоткам соленоидов соответствующие токи, можно производить компенсацию и регулировку величины азимутального магнитного поля H_{φ} внутри феррита, не изменяя при этом величину продольного магнитного поля H_z^u соленоидов, с помощью которого осуществлялась фокусировка пучка.

В проведенном эксперименте импульсное магнитное поле H_z^u до-

стигало величины до 2 кЭ, разность токов в обмотках соленои- дов изменялась в пределах $0 \pm 1,5$ кА.

Была изучена зависимость напряжения на отдельном резонаторе, возбуждаемом задним фронтом импульса тока пучка, от H_ϕ . Показа- но, что существует оптимальная рабочая точка, в которой ускоря- щее напряжение максимально. При использовании для фокусировки пучка обычного одиночного соленоида ускоряющее поле уменьшалось приблизительно в 10 раз по сравнению с максимальным значением. Это обусловлено тем, что наличие азимутальной составляющей маг- нитного поля фокусирующего соленоида приводит к значительному смещению рабочей точки от оптимальной на кривой намагничивания феррита. Экспериментальное исследование зависимости напряжённости ускоряющего поля от тока пучка I_Π (в диапазоне 50-250 А) пока- зало, что эта зависимость линейная, напряжённость поля растёт с увеличением тока и при $I_\Pi = 230$ А достигает величины 300 кВ/м. Максимальное приращение энергии частиц составляло 200кэВ (на длине 0,8 м), а длительность импульса тока ускоренных электронов - 7 нс.

В т р е т ь е м р а з д е л е проведено экспериментальное исследование эффекта автоускорения при ударном возбуждении (зад- ним фронтом импульса тока пучка) свободной прецессии магнитного момента \vec{M} в гиротропном феррите. В этих исследованиях была ис- пользована методика, в основном описанная в разделе 2. Другой была только ускоряющая структура, которая здесь представляла со- бой набор ферритовых колец (марки 2С00НН), намагниченных до на- сыщения в продольном направлении постоянным полем соленоида. Об- щая длина ферритовой структуры составляла 0,8 м; наружный радиус колец $r_1 = 5$ см, внутренний - $r_2 = 3$ см.

Эксперимент проведен при начальной энергии электронов $W_0 = = 100$ кэВ, токе пучка $I_\Pi = 400$ А, длительности переднего фронта импульса тока пучка - 90 нс, заднего - 8 нс. Максимально достиг- нутое значение угла прецессии Ψ , ограничиваемое величиной то- ка пучка, составляло 0,57рад. При увеличении Ψ в диапазоне от 0 до 0,35рад ускоряющее поле возрастало; при бóльших углах поле начинало убывать. При оптимальном значении угла прецессии ($\Psi_{opt} = 0,35$ рад) напряжённость ускоряющего поля достигала величины 500 кВ/м. На длине ферритовой ускоряющей структуры, равной 0,8 м, частицы, расположенные на заднем фронте импульса тока пучка, получили приращение энергии 400 кэВ. Длительность импульса тока ускорен- ных электронов составляла 9 нс.

Расчёт ускоряющего поля при произвольной амплитуде прецессии был проведен для модели, в которой ферритовый цилиндр с отверсти- ем в центре для пролёта пучка намагничивался до насыщения под действием продольного постоянного магнитного поля H_{z0} соленоида и азимутального магнитного поля пучка H_ϕ^n . Путём совместного решения (в цилиндрической системе координат) уравнения Ландау и Лифшица для перемангничивания феррита -

$$d\vec{M}/dt = -\mu_0\chi_e[\vec{M}\vec{H}] \quad (1)$$

и уравнения магнитостатики

$$\text{div}\vec{B} = 0 \quad (2)$$

были получены соответственно следующие выражения для периода прецессии и максимальной напряжённости ускоряющего поля:

$$T = 4K(\sin\frac{\Psi}{2})/\mu_0\chi_e(MH_{z0})^{1/2}, \quad (3)$$

$$E = 2\mu_0^2 \gamma_e M (r_1 - r_2) \sqrt{H_{z0} M} \sin \frac{\psi}{2}, \quad (4)$$

где $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Г/м}$ - абсолютная магнитная проницаемость свободного пространства; $\gamma_e = 1,76 \cdot 10^{11} \text{ Кл/кг}$ - гиромагнитное отношение для электронного спина; $\cos \psi \equiv M_{z0}/M$, M_{z0} - проекция M на ось Z в начальный момент времени; K - полный эллиптический интеграл I-го рода; r_1, r_2 - соответственно наружный и внутренний радиусы ферритового цилиндра. Из формулы (3) следует, что период прецессии слабо зависит от её амплитуды. При изменении угла ψ от 0 до $\pi/2$ период прецессии увеличивается лишь на 17%.

Из формул (3) и (4), очевидно, имеем

$$E \cdot T/2 = 4K \left(\sin \frac{\psi}{2} \right) (r_1 - r_2) \sin \frac{\psi}{2} \Delta B, \quad (5)$$

где ΔB - изменение магнитной индукции в феррите. Из формулы (5) видно, что произведение величины напряжённости ускоряющего поля и полупериода прецессии при заданных размерах ферритового цилиндра зависит только от величины ΔB и, следовательно, характеризует амплитуду прецессии и степень участия элементарных магнитных моментов в создании ускоряющего поля. Согласно формуле (4), ускоряющее поле растёт практически линейно с увеличением ψ , что соответствует ходу экспериментальной зависимости при изменении ψ в диапазоне 0-0,35 рад. В этом диапазоне зависимость произведения $E \cdot T/2$ от угла ψ также согласуется с расчётом (см. формулу 5). При значениях угла ψ , превышающих 0,35 рад, кривая экспериментальной зависимости проходила существенно ниже расчётной. Наличие в эксперименте оптимального угла прецессии можно объяснить действием

замкнутых металлических поверхностей, окружающих феррит. Для качественного учёта влияния этих поверхностей на прецессию магнитного момента был проведен расчёт модели, в которой феррит располагался внутри металлического волновода. В этом случае для максимального ускоряющего поля было получено выражение

$$E = \mu_0^2 \gamma_e (r_1 - r_2) H_{z0} (H_{z0} + M \cos \psi), \quad (6)$$

$$\text{если } \sin \psi > (2H_{z0}/M)^{1/2},$$

и выражение

$$E = \mu_0^2 \gamma_e (r_1 - r_2) M \sin \psi (MH_{z0} - \frac{M^2}{4} \sin^2 \psi), \quad (7)$$

$$\text{если } \psi < (2H_{z0}/M)^{1/2}.$$

Кроме того, для учёта влияния на прецессию магнитного момента паразитных емкостей C_n конкретной схемы эксперимента было проведено совместное решение уравнений Кирхгофа, уравнений магнитостатики и уравнения Ландау-Лифшица. Для малой величины угла прецессии (условия эксперимента близки к этому случаю) было получено следующее выражение для ускоряющего поля в области заднего фронта импульса тока пучка:

$$E = \frac{r_1 - r_2}{\pi(r_1 + r_2)} \frac{\Delta B}{H_{z0}} \frac{I_n}{\tau} (1 - \cos \omega_p t), \quad (8)$$

где $\omega_p = \omega_k (\mu_0 H_{z0} / \Delta B)^{1/2}$ - частота прецессии, $\omega_k^2 = \frac{1}{LC_n}$, $L = \mu_0 S / \pi(r_1 + r_2)$, I_n - амплитуда импульса тока пучка; τ - длительность заднего фронта импульса тока пучка, S - сечение феррита для азимутального потока. Остальные обозначения были приведены выше. Уравнение (8) получено при условиях

$\Delta V \gg \mu_0 H_{z0}$ и $\omega_k \ll \gamma \Delta V$. Эти условия в реальных экспериментах обычно выполняются. Результаты анализа, проведённого на основе соотношений (6), (7) и (8), позволяют объяснить основные закономерности эксперимента.

Четвёртый раздел посвящён экспериментальному исследованию развития продольной неустойчивости пучка, взаимодействующего с ферритом. Исследования выполнены на описанных выше установках. (см. разделы 2,3) в двух вариантах: в первом использовался ненасыщенный феррит марки 60НН, во втором — немагнитный до насыщения феррит марки 2000НН. В обоих случаях получены приблизительно одинаковые результаты. Исследование закономерностей, характеризующих развитие неустойчивости, производилось путём измерения импульса тока пучка до и после его прохождения через сменную алюминиевую фольгу. Толщина фольги изменялась от 20 до 200 мкм, энергия частиц регулировалась от 75 до 150 кэВ, ток пучка — от 50 до 600 А, величина фокусирующего магнитного поля — от 0,3 до 3 кэ; магнитное поле H_{z0} , намагничивающее феррит до насыщения в продольном направлении, изменялось в диапазоне от 0 до 70 Э, длина ферритовой структуры — от 0,2 до 2 м.

Проведенное экспериментальное исследование зависимости порога неустойчивости от плотности тока и энергии частиц пучка показало, что инкремент неустойчивости в соответствии с теорией определяется следующей зависимостью:

$$\delta \sim j^{1/3} \gamma^{-1} \beta^{-4/3}, \quad (9)$$

где j — плотность тока пучка, γ — полная энергия электрона

в единицах энергии покоя, β — скорость электронов, отнесённая к скорости света. В эксперименте инкремент неустойчивости практически не зависел от величины продольного магнитного поля H_{z0} , что также согласуется с теорией, согласно которой $\delta \sim H_{z0}^{1/6}$.

Исследование зависимости частоты возбуждаемых колебаний от продольного магнитного поля H_{z0} показало, что с ростом величины H_{z0} частота колебаний имеет тенденцию к увеличению.

Исследование приращения максимальной энергии электронов (вследствие развития продольной неустойчивости пучка) в зависимости от длины ферритовой структуры показало, что в соответствии с теорией экспоненциальное нарастание энергии частиц при определённой длине прекращалось и наступало насыщение; максимальная энергия электронов увеличивалась примерно вдвое. В частности, при начальной энергии электронов 130 кэВ и токе пучка 400 А энергия экспоненциально нарастала на длине до 1,5 м, при этом абсолютная величина инкремента неустойчивости равнялась приблизительно $1/17 \text{ см}^{-1}$.

В заключении (пятом разделе) сформулированы основные результаты и выводы работы.

I. Впервые осуществлено и экспериментально исследовано автоускорение пучка при ударном возбуждении свободной прецессии магнитного момента в гиротропном феррите. Изучены ускоряющее напряжение, приращение энергии, длительность импульса тока ускоренных электронов при различной длине ускоряющей структуры. Исследована временная зависимость магнитной индукции в феррите. Результаты этих исследований согласуются между собой. Проведено исследование зависимости ускоряющего поля от амплитуды прецес-

сии. При токе пучка 400 А достигнута напряжённость ускоряющего поля 500 кВ/м. Получено приращение энергии электронов 400 кэВ при начальной энергии 100 кэВ и токе пучка 400 А.

2. Впервые осуществлено и экспериментально исследовано автоускорение при прерывании пучка в структуре, заполненной ненасыщенным ферритом. Исследована зависимость ускоряющего поля от тока пучка в диапазоне 50–250 А и от положения рабочей точки на кривой намагничивания феррита. Показано, что данный метод обеспечивает сравнительно высокую эффективность автоускорения пучка уже при токах в сотни ампер. Получено приращение энергии электронов 200 кэВ на длине ускоряющей структуры 0,8 м при начальной энергии частиц 100 кэВ и токе 230 А.

3. Исследована зависимость порога продольной неустойчивости пучка от величины тока (в диапазоне 50–600 А) и энергии электронов (в диапазоне 75–150 кэВ).

Изучена зависимость приращения максимальной энергии электронов (при развитии продольной неустойчивости пучка) от длины ферритовой структуры.

Полученные результаты позволяют выбрать условия, при которых неустойчивость практически не успеет развиться на значительной длине, и автоускорение при прерывании интенсивного электронного пучка будет эффективным.

4. Разработана и экспериментально исследована оригинальная методика регулировки рабочей точки на кривой намагничивания феррита, обеспечивающая выбор оптимальных условий для автоускорения пучка.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. Ракитянский А.А., Шендерович А.М. Ускоритель сильноточного пучка электронов.- Авторское свидетельство СССР на изобретение № 582723 от 17 августа 1976 г., Н 05 Н II/00. Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки, 1978, № 23, с.225.

2. Закутин В.В., Насонов Н.Н., Ракитянский А.А., Шендерович А.М. Эксперимент по самоускорению сильноточного электронного пучка при его взаимодействии с системой ферритовых резонаторов.- В кн.: Вопросы атомной науки и техники. Серия: Линейные ускорители. Вып. I(4). Харьков, ХФТИ АН УССР, 1977, с.53.

3. Ракитянский А.А. Экспериментальное исследование самоускорения при прерывании сильноточного электронного пучка в ферритовых резонаторах. Препринт ХФТИ АН УССР, 78-20, Харьков, 1978.

4. Закутин В.В., Насонов Н.Н., Ракитянский А.А., Шендерович А.М. Экспериментальное исследование самоускорения при прерывании сильноточного электронного пучка в ускоряющей структуре с намагниченным до насыщения ферритом.- В кн.: Вопросы атомной науки и техники. Серия: Линейные ускорители. Вып. I(4). Харьков, ХФТИ АН УССР, 1977, с.52-53.

5. Закутин В.В., Насонов Н.Н., Ракитянский А.А., Шендерович А.М. Экспериментальное исследование самоускорения сильноточного электронного пучка при возбуждении колебаний намагниченности в ферритах.- В кн.: 2-й Симпозиум по коллективным методам ускорения, 29 сентября - 2 октября 1976 г. Препринт ОИЯИ, Д9-10500, Дубна, 1977, с.166-168.

6. Закутин В.В., Насонов Н.Н., Ракитянский А.А., Шендерович А.М. Исследование самоускорения сильноточного электронного пучка в

ферритовой ускоряющей структуре.- В кн.: Труды 10-й Международной конференции по ускорителям заряженных частиц высоких энергий, июнь 1977 г., т.1. Протвино, ИФВЭ, 1977, с.394-399.

7. Ракитянский А.А., Шендерович А.М. К расчёту электрических полей, возбуждаемых за счёт прецессии магнитного момента в феррите.- В кн.: Вопросы атомной науки и техники. Серия: Техника физического эксперимента. Вып.1(1). Харьков, ХФТИ АН УССР, 1978, с.44-46.

8. Закутин В.В., Насонов Н.Н., Ракитянский А.А., Шендерович А.М. Расчёт и экспериментальное исследование самоускорения при прерывании сильноточного электронного пучка в ускоряющей структуре с немагнитным до насыщения ферритом. Журн. техн. физ., 1979, т.49, вып.1, с.83-89.

9. Закутин В.В., Насонов Н.Н., Ракитянский А.А., Шендерович А.М. Продольная неустойчивость интенсивного электронного пучка при взаимодействии с немагнитным до насыщения ферритом.- В кн.: Тезисы доклада 4-го Всесоюз. семинара по линейным ускорителям, июнь 1976 г. Харьков, ХФТИ АН УССР, 1976, с.46.

10. Ракитянский А.А. Экспериментальное исследование продольной неустойчивости сильноточного электронного пучка в ферритовых структурах. Препринт ХФТИ АН УССР, 78-56, Харьков, 1978, 8 с.

Рукопись поступила в издательский отдел
26 сентября 1979 года.