

ХАРКІВСЬКИЙ НАУКОВИЙ
ФІЗИКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ЦЕНТР
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

На правах рукопису

Гладких Петро Іванович

УДК 621.384.6

РЕЗОНАНСНИЙ ПОВІЛЬНИЙ ВИВІД
ЕЛЕКТРОНІВ ІЗ НАГРОМАДЖУВАЧІВ

01.04.20 - фізика пучків заряджених часток
та прискорювальна техніка

Автореферат дисертації
на здобуття вченого ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Харків - 1994



Роботу виконано у Національному науковому центрі Харківський фізико-технічний інститут

НАУКОВИЙ КЕРІВНИК:

Карнаухов Іван Михайлович - доктор фізико-математичних наук, професор, Харківський фізико - технічний інститут, м. Харків.

ОФІЦІЙНІ ОПОНЕНТИ:

Бомко Василь Олексійович - доктор фізико-математичних наук, Харківський фізико - технічний інститут, м. Харків.

Чорний Валентин Васильович - кандидат фізико-математичних наук, Харківський державний університет, м. Харків.

Провідна організація - Інститут ядерних досліджень АН України, м. Київ.

Захист дисертації відбудеться "2" червня 1994 р. на засіданні спеціалізованої ради Д 02.19.01 при Харківському науковому фізико - технологічному центрі (м. Харків, вул. Новгородська, 1). З дисертацією можна ознайомитися у спеціалізованій раді Д 02.19.01.

Автореферат розіслано "26" квітня 1994 р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради
Д 02.19.01

В.П. Демуцький

Загальна характеристика роботи

Актуальність проблеми. Через те, що середня потужність імпульсних джерел НВЧ-постачання є обмеженою, сучасні резонансні прискорювачі електронів працюють у короткоімпульсному режимі з відносно малою частотою повторення імпульсів f_r . При цьому величина коефіцієнта заповнення, яка дорівнює добутку тривалості імпульсу на частоту повторення $K = \tau_p \cdot f_r$, значно менша за одиницю. Для лінійних прискорювачів електронів, які мають характерну тривалість імпульсу $\tau_p = 1-2$ нс та частоту повторення $f_r = 50-1000$ Гц, величина коефіцієнту заповнення лежить у межах $5 \cdot 10^{-2} < K < 2 \cdot 10^{-3}$. У цих умовах для того, щоб забезпечити необхідну швидкість набору інформації у фізичних експериментах, потрібно працювати з великими імпульсними струмами, які викликають значне перенавантаження обладнання, а велика кількість експериментів при цьому принципово неможлива.

Таким чином, необхідність значного підвищення об'ємів та якості інформації, що здобувається у фізичних експериментах, потребує розробки ефективних методів здобування квазібезперервних пучків заряджених часток, які б мали коефіцієнти заповнення $K \sim 1$.

Стан справ. Аналіз сучасного розвитку фізики та техніки прискорювачів показує, що у діапазоні енергій часток близько кількох Гев найбільш ефективними методами для досягнення потрібних величин коефіцієнту заповнення є або спеціальні режими роботи існуючих циклічних прискорювачів, або спорудження спеціалізованих прискорювально-нагромаджувальних комплексів, які складаються з лінійних прискорювачів (ЛП) та нагромаджувачів-розтягувачів (НР). НР у таких комплексах перетворює імпульсний струм ЛП у квазібезперервний за допомогою, як правило, повільного виводу часток при наявності нелінійних резонансів бетатронних коливань. Суть повільного виводу полягає у наступному. Пучок часток із ЛП інжектують до НР за кілька обертів. У НР для нього створюють резонансні умови. Частки пучка, які попадають після інжекції на межу області стійкого руху (поблизу так званої сепаратриси), починають підвищувати амплітуду бетатронних коливань до такої, доки вони не попадуть у виводячий прилад (звичайно це є септум). Далі область стійкого руху починають зменшувати, щоб за сепаратрису опинились частки, які мають все менші та менші амплітуди, до повного виведення часток із нагромаджувача. Цей процес триває до моменту інжекції наступного імпульсу прискорювача, тобто сотні-тисячі обертів у залежності від частоти інжекції.

Існуючі циклічні прискорювачі електронів мають набагато менші середні струми, ніж ЛП, внаслідок чого здобуття квазібезперервних пучків з високою величиною коефіцієнту заповнення на базі комплексів ЛП-НР має найбільшу перевагу. Альтернативним методом є спорудження джерел безперервних пучків на базі надпровідних прискорювачів, але ж здобуття високоенергетичних інтенсивних пучків

за допомогою надпровідних структур поки що є дуже складною технічною проблемою.

До цього часу у світі розроблено декілька проектів НР та циклічних прискорювачів з квазібезперервним пучком, які використовують для виведення часток нелінійні резонанси бетатронних коливань. Аналітично такі резонанси досить докладно вивчено, але порівняння характеристик найбільш перспективних для цього резонансів здійснено без урахування радіаційного згасення. Крім того, у світовій науковій літературі відсутні розрахунки систем так званого хроматичного виводу, який дозволяє значно поліпшити енергетичні характеристики виведеного пучка у порівнянні з інжектуванням.

Ціллю дисертаційної роботи є розробка фізичного обґрунтування нагромаджувача-розтягувача на середні енергії, проектування на його підставі нагромаджувача-розтягувача НР-2000 для Харківського лінійного прискорювача електронів ЛУ-2000 з енергією до 3 GeV, розрахунки характеристик структури НР та параметрів виведеного пучка, розробка методики та здійснення повільного виводу електронів із нагромаджувача Н-100 ХФТІ з енергією до 160 MeV.

Наукова новизна роботи є у такому:

- Проведений порівняльний аналіз нелінійних резонансів бетатронних коливань, які найбільш перспективні для здійснення повільного виводу, з урахуванням радіаційного згасення внаслідок синхротронного випромінювання. Виявлено, що присутність радіаційного згасення призводить до зростання емітансу виведеного пучка та порушує рівномірність виводу при вживанні лінійного закону зміни відстані до резонансу. На підставі проведеного аналізу вибрано робочі резонанси для НР-2000.

- Проведені розрахунки хроматичного повільного виводу на параметричному та третього порядку резонансах бетатронних коливань. Знайдені вирази для коефіцієнту монохроматизації та коефіцієнту заповнення у такому режимі роботи. На підставі аналітичних оцінок та результатів комп'ютерного моделювання доведено, що для НР-2000 у діапазоні енергій 0.5-1.5 GeV при цьому можна зменшити енергетичну дисперсію у пучку від $\Delta E = \pm 1 \cdot 10^{-3}$ до $\Delta E = \pm 2.5 \cdot 10^{-4}$ у порівнянні з режимом ахроматичного виводу.

- Здійснено повільний вивід пучка із нагромаджувача електронів за допомогою нелінійного резонанса бетатронних коливань $3Q_2 = 2$. Здобуті параметри виведеного пучка з доброю точністю співпадають із розрахунковими.

Практична цінність. Результати роботи були безпосередньо використані при розробці проекту нагромаджувача-розтягувача НР-2000 та при розробці методики та проведення експериментів з повільного виводу пучка із нагромаджувача електронів Н-100. На цьому нагромаджувачі споруджено канал квазібезперервного пучка з енергією електронів $E = 70-120$ MeV для експериментів на внутрішніх мішенях.

Основні положення, які подаються до захисту:

1. Проведено порівняльний аналіз нелінійних резонансів бетатронних коливань, за допомогою яких здійснюється повільний вивід, з урахуванням радіаційного згасення коливань. Знайдені вирази для оцінок зростання емітансу виведеного пучка та вираз для відстані до резонансу, яка забезпечує рівномірний вивід у заданому інтервалі часу.

2. Запропоновано магнето-оптичну структуру HP-2000, яка дозволяє здійснити повільний вивід на параметричному $2Q_x=11$ та третьому порядку $3Q_x=16$ резонансах. Здобуто розрахункові параметри пучка, які задовольняють вимогам фізичних експериментів: коефіцієнт заповнення $K \sim 0.95$, емітанс $\epsilon_x = 1 \cdot 10^{-7}$ м·рад при емітансі інжектваного пучка $\epsilon_{inj} = 3 \cdot 10^{-7}$ м·рад. Запропонована структура, крім того, дозволяє використовувати HP як джерело синхротронного випромінювання (СВ) зі спектральною яскравістю, яка порівнюється із яскравістю спеціалізованих джерел СВ.

3. Проведено розрахунки хроматичного повільного виводу із HP-2000 на параметричному та третього порядку резонансах бетатронних коливань, знайдено вирази для оцінок коефіцієнта монохроматизації та коефіцієнта заповнення. Доведено, що у діапазоні енергій $E_0=0.5-1.5$ ГэВ у такому режимі роботи можна у 3-4 рази зменшити енергетичну дисперсію у виведеному пучку у порівнянні з інжектванним.

4. Розроблена методика та проведені експерименти з повільного виводу із нагромаджувача електронів H-100, споруджено канал квазібезперервного пучка для експериментів на внутрішніх мішенях.

Апробація роботи та публікації. Здобуті у роботі результати було апробовано на міжнародних конференціях з прискорювачів заряджених часток (Національні конференції США 1987 та 1988 р., Європейські конференції EPAC II та EPAC III 1990 та 1992 р., Міжнародних конференціях з синхротронного випромінювання СИ-88, SRI-88, XI Міжнародній конференції з магнетної технології 1989 р., XI та XII Всесоюзних нарадах з прискорювачів заряджених часток 1988 та 1990 р., X та XII Всесоюзних семінарах з лінійних прискорювачів 1986 та 1990 р.).

Результати роботи були оприлюднені у "Письмах ЖТФ", працях перелічених конференцій, препринтах та звітах ХФТІ. Усього по темі дисертації були оприлюднені 14 праць.

Вміст роботи

У роботі систематизовано результати розробки фізичного обґрунтування та проектування нагромаджувача-розтягувача HP-2000 для лінійного прискорювача електронів ЛУ-2 ГеВ ХФТІ та результати експериментів з повільного виводу із нагромаджувача електронів H-100 ХФТІ.

У вступі обґрунтовано актуальність теми досліджень, проаналізовано сучасний стан справ, сформульовано ціль роботи та основні положення, які подаються до захисту.

У першому розділі описано метод дослідження нелінійних резонансів $nQ_y = m$, який ґрунтується на аналізі гамільтоніана

$$H = J_y^{n/2} \cdot |h_m| \cdot \cos(mw + \arg h_m) + \delta \cdot J_y \quad (1)$$

де J_y, w - канонічні змінні дія-фаза,

n - порядок резонансу,

$|h_m|, \arg h_m$ - амплітуда та фаза резонансної гармоніки збурення,

$\delta = nQ_y - m$ - відстань до резонансу,

$y = \{x, z\}$ - поперечні координати часток.

Із (1) виходять рівняння руху у канонічних змінних

$$\frac{dJ}{d\theta} = \frac{\partial H}{\partial w} \quad (2a)$$

$$\frac{dw}{d\theta} = \frac{\partial H}{\partial J} \quad (2b)$$

Тут $\theta = s/R$ - азимут,

R - приведений радіус кільця,

s - відстань вздовж орбіти до точки спостереження.

Оскільки гамільтоніан, який явно не залежить від часу, є інтегралом руху, фазові траєкторії системи уявляють собою лінії однакового рівня поверхні $H = H(J, w)$. Екстремуми цієї поверхні визначають точки застою: стійкі фокуси типу "центр" та нестійкі - "сідала". Гранична фазова траєкторія, яка зветься сепаратрисою, розділяє фазову площину на області із фінітним та інфінітним рухом. Параметри сепаратриси (найбільша амплітуда стійких коливань у сепаратрисі J_0 , її орієнтація на фазовій площині w_0) обумовлюються співвідношеннями відстані до резонансу та величини резонансного збурення. Суть повільного виводу полягає у тому, що зміною цих співвідношень частки витискуються у область інфінітного руху, де амплітуда їх коливань зростає до досягнення ними септума.

Як виходить з аналізу рівнянь (2), для того, щоб здобути прецизійні параметри виведеного пучка, необхідно формувати "порожнистий" у фазовій площині виводу пучок, у якому відношення a_{\max}/a_{\min} , де $\Delta a = a_{\min} - a_{\max}$ - діапазон амплітуд коливань часток у сепаратрисі, було б близько до одиниці. Це пов'язано з тим, що у процесі виводу змінюється кутова координата часток, які потрапляють на септум, причому ця зміна пропорційна Δa , внаслідок чого зростає емітанс виведеного пучка. Усунути девіацію кутової координати можна або у каналі виводу, або безпосередньо у кільці нагронадживача за допомогою імпульсних лінз, які б змінювали відповідним чином амплітуду та фазу резонансної гармоніки збурення. Останній спосіб на нашу думку має найбільшу перевагу, бо при цьому зменшуються втрати часток у септумі внаслідок зменшення емітансу пучка, який на нього попадає. Цей метод реалізовано нами у проекті НР-2000.

У електронних нагромаджувачах внаслідок радіаційного згасення у правій частині рівняння (2а) з'являється додатковий член $-J_{\zeta}$ [1], де ζ - декремент згасення бетатронних коливань у площині виводу. Наявність випромінювання, як доведено у першому розділі, призводить до зростання діапазону амплітуд Δa_i , як наслідок, до зростання емітанса виведеного пучка. Для резонансів другого-четвертого порядків (резонанси з більш високими порядками не використовуються внаслідок їх слабкості) здобуто вирази для оцінок зростання емітанса.

Зміна амплітуди коливань часток у сепаратрисі внаслідок втрат енергії на СВ підпорядковується експоненційному закону, що порушує рівномірність виводу при вживанні лінійного закону зміни відстані до резонансу. Здобуто вираз для залежності відстані до резонансу від часу, яка забезпечує рівномірний вивід у завданому інтервалі часу.

На підставі проведеного аналізу нами були вибрані робочі резонанси для НР-2000 - параметричний $2Q_x=11$ та резонанс третього порядку $3Q_x=16$, причому у діапазоні енергій $E_0=0.5-2$ Гев вивід буде здійснюватись за допомогою резонансу третього порядку, а при більших енергіях - параметричного. Цей вибір обумовлений труднощами виводу часток з малими амплітудами коливань при вживанні резонансу третього порядку, а саме ця ситуація реалізується у діапазоні високих енергій внаслідок великого згасення коливань.

У *другому розділі* описано результати розрахунків параметрів структури розтягувача та параметрів виведеного пучка у різних режимах роботи НР-2000. Основні концепції вибору структури обумовлені його багатофункціональністю і містять таке:

1. Магнето-оптична структура повинна забезпечити можливість здійснення повільного виводу на параметричному та третього порядку резонансах бетатронних коливань.

2. З метою здобуття параметрів фотонного пучка, порівняльних із параметрами спеціалізованих джерел СВ, необхідно передбачити режим роботи з малим значенням радіаційного емітанса, який визначає яскравість джерела.

3. У режимі джерела СВ, який відзначається більш жорсткою у порівнянні з режимом нагромаджувача фокусировкою, для компенсації природної хроматичності кільця необхідно установлювати сильні секступольні лінзи, що призводить до виникнення резонансів зв'язку, які зменшують динамічну апертуру (ДА). Тому у магнето-оптичній структурі нами передбачена система коригування ДА за допомогою секступольних лінз, які установлюються у місцях з нульовою дисперсійною функцією η_x .

4. Для здійснення інжекції та виводу під оптимальними кутами до ідеальної рівноважної орбіти, близькими до нуля, що полегшує вимоги до систем інжекції та виводу, у структурі кільця передбачено проміжки із постійним значенням радіальної амплітудної функції β_x . Величина її на цих проміжках повинна бути максимальною по кільцю, що забезпечує

максимальне відхилення часток у процесі виводу саме на азимуті септума і зменшує втрати часток.

З урахуванням перелічених вище обставин нами запропоновано структуру кільця НР-2000, яка уявляє собою систему з незалежними функціями повороту та фокусування і складена з чотирьох суперперіодів. Її схему приведено на Рис.1. На криволінійному проміжку суперперіоду встановлено 8 дипольних, 7 квадрупольних та 4 секступольних магнетів, які забезпечують ахроматичність довгих прямолінійних проміжків, де розташовані системи інжекції та виводу та система високочастотного постачання пучка. 5 квадрупольних лінз, розташованих у довгих прямолінійних проміжках, разом із магнетами криволінійного проміжка забезпечують необхідне значення частот бетатронних коливань і незмінність β_x на проміжках інжекції та виводу. Розташування магнетних елементів та їхні сили оптимізовані з урахуванням необхідності роботи НР у перелічених вище режимах.

Для здобуття необхідних при вживанні резонансу третього порядку амплітуди та фази секступольного збурення на кожному з чотирьох довгих прямолінійних проміжків розташовано по одному секступольному магнету. Ці ж лінзи коригують ДА у режимі джерела СВ. Формування сепаратриси на параметричному резонансі здійснюється двома октупольними лінзами, які регулюють кубічну нелінійність при роботі на резонансі третього порядку. Наведення на резонанс здійснюється двома імпульсними квадрупольними лінзами. Вживання двох імпульсних квадруполів дає змогу здійснити коригування девіації кутової координати часток у процесі виводу.

Перехід на режим джерела СВ здійснюється зміною режимів роботи квадрупольних та секступольних магнетів криволінійного та прямолінійного проміжків. При цьому частоти бетатронних коливань змінюються від $Q_x=5.31$, $Q_z=5.14$ до $Q_x=7.30$, $Q_z=7.25$, а на криволінійному проміжку реалізується режим "four bend achromat", який дозволяє зменшити радіаційний емітанс до величин $\epsilon_r=2 \cdot 15 \cdot 10^{-8}$ м·рад у діапазоні енергій $E_0=0.75-2.5$ Гев.

На Рис.2 зображено результати моделювання процесу повільного виводу при використанні резонанса третього порядку при включеній та виключеній системі компенсації девіації кутової координати виведених часток. Із рисунка видно, що вживання цієї системи дає можливість значно зменшити емітанс виведеного пучка.

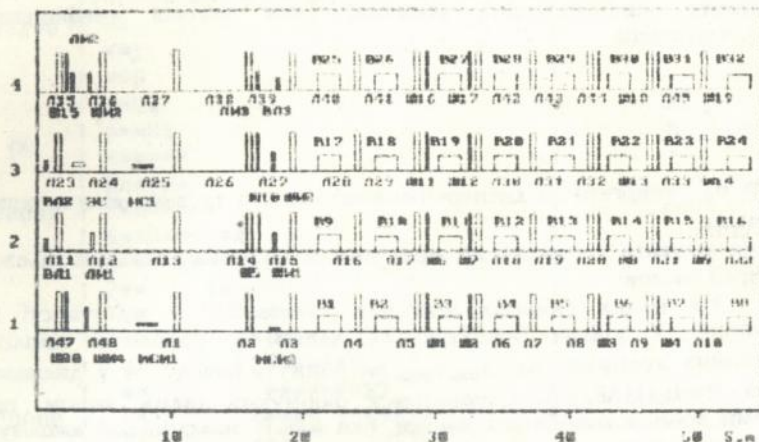


Рис.1.

Схема чотирьох суперперіодів НР-2000.

В - дипольні магнети, А - квадруполи, Ш - сексупольні,
ВЛ - октуполи, ЭС, МС - електростатичний та магнетний септуми.

При наявності природної хроматичності кільця $\xi_v = \frac{dQ_v}{d\Delta p}$ через

синхротронні коливання енергії змінюється відстань до резонансу (будемо розглядати вивід у радіальній площині)

$$\delta_1 = \delta_0 + \xi_x \frac{\Delta p}{p} \quad (3)$$

де δ_1 - ефективна відстань,

$\Delta p/p$ - відхилення енергії частки від рівноважної,

ξ_x - хроматичність.

Ця зміна відстані до резонансу призводить до того, що інтенсивність пучка стає модульованою частотою синхротронних коливань, причому глибина цієї модуляції пропорційна хроматичності, внаслідок чого природну хроматичність звичайно компенсують і такий режим роботи зветься ахроматичним резонансним повільним виводом. Але якщо у кільці створити такі умови, щоб до резонансу потрапляли тільки частки визначеної енергії, то такий режим, який зветься

хроматичним виводом, дає змогу значно поліпшити енергетичні характеристики виведеного пучка. Для кількісної оцінки цього поліпшення запроваджують величину, яка зветься коефіцієнтом монохроматизації

$$k = \frac{2 \cdot \frac{\Delta p}{p}}{\sigma_e} \quad (4)$$

де $\Delta p/p$, σ_e - енергетичні дисперсії інжектваного та виведеного пучків, відповідно.

Реалізувати хроматичний вивід можна кількома методами залежно від енергії часток:

- На малих енергіях можлива робота НР у відсутності ВЧ постачання. У кільце інжектуються частки у діапазоні амплітуд бетатронних коливань $\Delta a = a_{\min} - a_{\max}$ на азимуті виводу та у діапазоні енергій $E = E_0(1 \pm \Delta E/E_0)$. Сепаратрису формують таким чином, щоб першими почали виводитись частки, які мають максимальні амплітуди у сепаратрисі бетатронних коливань і мінімальні енергії, а далі внаслідок втрат енергії на СВ до резонансу потрапляють частки із все меншими та меншими амплітудами бетатронних коливань.

- На великих енергіях, коли робота у відсутності ВЧ постачання стає неможливою, для реалізації хроматичного виводу використовують той факт, що частота синхротронних коливань у нагромаджувачах як правило є набагато меншою за частоту бетатронних коливань, внаслідок чого енергія часток не встигає суттєво змінитися за той час, за який вони досягають септума. Повільна зміна рівноважної енергії здійснюється за допомогою зміни частоти ВЧ постачання (що є аналогом втрат енергії на СВ). Іншим методом хроматичного виводу у наявності ВЧ постачання є одночасне некогерентне розхитування бетатронних та синхротронних коливань. Сепаратриса при цьому формується таким чином, щоб виводились частки, які мають максимальне відхилення енергії від рівноважної. Цей засіб є складним у реалізації, але за його допомогою можна здобути малий емітанс внаслідок незмінності параметрів сепаратриси бетатронних коливань.

Нами здобуто вирази для визначення коефіцієнта монохроматизації k та тривалості виводу N (у обертах)

$$N = \frac{2\Delta p/p + \Delta\delta/\xi_s}{\Delta E/E_0}, k = \frac{2\xi_s \Delta p/p}{\Delta\delta} \quad (5)$$

де $\Delta E/E_0$ - відносні втрати енергії через оберт,

$\Delta\delta$ - діапазон зміни відстані до резонансу для виведення усіх часток.

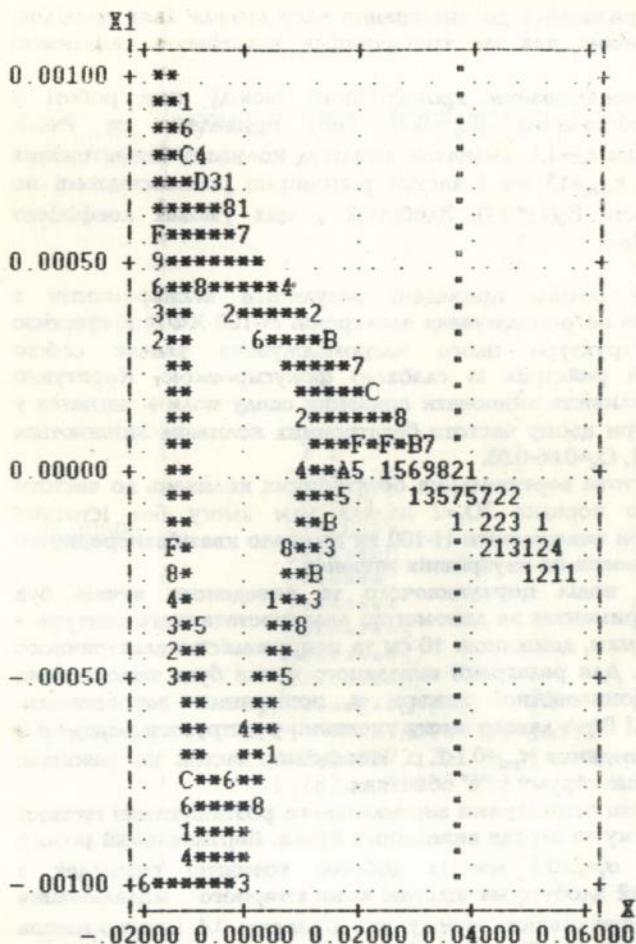


Рис.2.

Фазова мапа циркулюючого та виведеного пучків на резонансі $3Q_x=16$. Заштриховано фазовий об'єм з включеною системою коригування девіації кута виведених часток. X_2 -положення септума.

Аналіз виразів (5) показує, що для здобуття малої енергетичної дисперсії виведених часток треба збільшувати хроматичність і зменшувати емітанс інжектованого пучка (діапазон амплітуд $a_{\min}-a_{\max}$). З

другого боку, це призводить до зменшення часу виводу і, як наслідок, коефіцієнта заповнення, так що хроматичність звичайно є величиною компромісною.

Результати моделювання хроматичного виводу при роботі у відсутності ВЧ постачання ($E_0 = 0.75$ ГеВ) приведено на Рис.3. Хроматичність кільця $\xi_x = 13.$, діапазон амплітуд коливань інжекттованих часток $a_{\min} = 12$ мм, $a_{\max} = 15$ мм і частки рівномірно розповсюджені по енергіях у діапазоні $E_0(1 \pm 10^{-3})$. Здобутий у цих умовах коефіцієнт монохроматизації $k = 3$.

У *третьому розділі* приведені результати експериментів з повільного виводу із нагромаджувача електронів Н-100 ХФТІ з енергією до 160 МеВ. Структура цього нагромаджувача уявляє собою двохсуперперіодний рейстрек із слабкою фокусировкою. Коригуючі обвитки дають можливість змінювати показник спаду поля у магнетах у межах $p = 0.12 - 0.28$, при цьому частоти бетатронних коливань змінюються у межах $Q_x = 1.18 - 1.21$, $Q_z = 0.66 - 0.68$.

Близкість частоти вертикальних бетатронних коливань до частоти резонансу третього порядку $3Q_z = 2$ надала нам змогу без істотних переробок структури використати Н-100 як джерело квазібезперервного пучка для експериментів на внутрішніх мішенях.

Просторовий поділ циркулюючого та виведеного пучків був здійснений у експериментах за допомогою електростатичного септума з товщиною ножа 50 мкм, довжиною 10 см та напруженістю електричного поля $E \sim 50$ кВ/см. Для реєстрації виведеного пучка було використано датчик на базі іонізаційної камери з повітряним заповненням. Чутливість датчика 1 В/нА давала змогу упевнено реєструвати виведений пучок при часі виведення $\tau_{\text{вв}} = 0.1 - 1$ с. Наведення часток на резонанс здійснювалось зміною струму у "п" обвитках.

На Рис.4. надані осцилограми вертикального розташування густини та осцилограми струму та заряду виведеного пучка. Вертикальний розмір виведеного пучка $\sigma_z = 2 \pm 0.5$ мм із доброю точністю співпадає з розрахунковим, який здобуто на підставі комп'ютерного моделювання ($\Delta z = 2$ мм). Здобута ефективність виводу, яка дорівнює 0.4, істотно менша за розрахункову (0.83). Розбіжність між результатами експеримента та чисельного моделювання на нашу думку може бути поясненою тією обставиною, що неконтрольована у перебігу експеримента вертикальна орбіта на проміжку та заряду була перекрученою, що й призвело до зниження ефективності виводу.

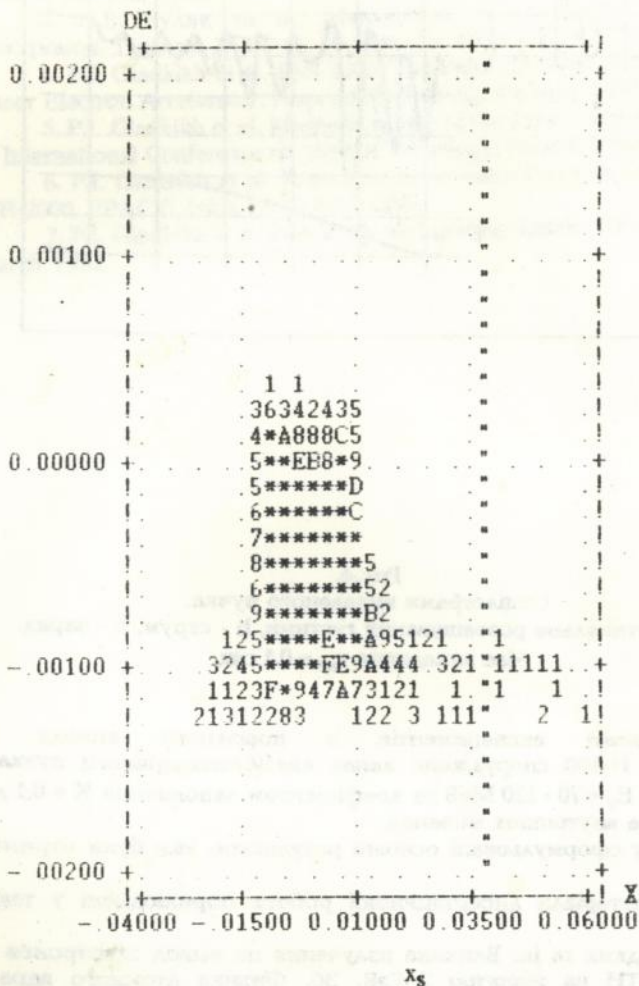


Рис.3.

Фазова мапа пучка при хроматичному виводі у відсутності ВЧ постачання. X_g - положення сегмента.

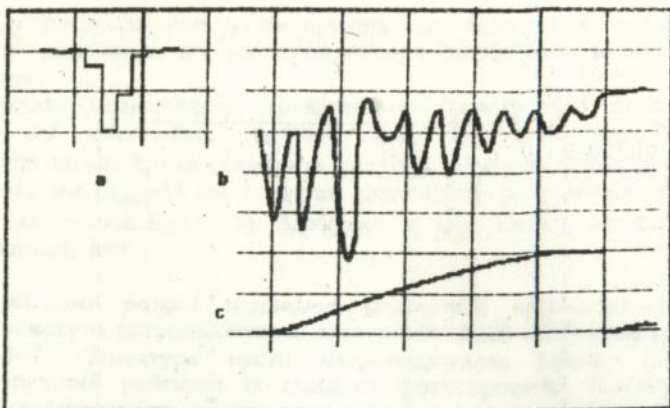


Рис.4.

Осцилограми виведеного пучка.

а - вертикальне розташування густини, б - струм, с - заряд.
Час виведення $\tau_{\text{вд}} = 0.1$ сек.

У результаті експериментів з повільного виводу на нагромаджувачі Н-100 споруджено канал квазібезперервного пучка з енергією часток $E_0 = 70 - 120$ MeV та коефіцієнтом заповнення $K \approx 0.1$ для експериментів на внутрішніх мішенях.

У висновку сформульовані основні результати, які були отримані у дисертації.

Основні матеріали дисертаційної роботи оприлюднені у таких публікаціях:

1. П.І. Гладких та ін. Влияние излучения на вывод электронов из накопителя ХФТИ на энергию 2 ГэВ. 36. Физика атомного ядра и элементарных частиц. Материали конференції, присвяченої 50 - річчю розщеплення ядра у СРСР, стор. 89-93, Москва, 1982.

2. В.І. Артемов та ін. НР-2000. Накопитель-растяжитель на энергию 2 ГэВ для линейного ускорителя электронов ЛУ-2 ГэВ ХФТИ.

Физическое обоснование. Звіт про НДР, номер держ. реєстрації У47332, Харків, 1983.

3. С.В. Буляк та ін. Медленный вывод пучка из накопителя электронов. Письма ЖТФ, т. 10, вып. 23, стор. 1421-1423, 1984.

4. P.I. Gladkikh et al. PSR-2000. The Pulse Stretcher Ring for the Kharkov Linear Electron Accelerator. Preprint KFTI 90-92, Kharkov, 1992.

5. P.I. Gladkikh et al. Magnetic system of the Pulse Stretcher Ring PSR-2000. XI International Conference on Magnet Technology, Boston, USA, 1989.

6. P.I. Gladkikh et al. Resonance beam extraction in a Pulse Stretcher Ring PSR-2000. EPAC II, Nice, 12-16 June, 1990.

7. P.I. Gladkikh et al. PSR-2000. An Injecting System. EPAC III, Berlin, 23-28 March, 1992.

Полішено в печать 29.03.94. Формат 60x84/16. Офсетн.печать.
З сл.п. л. 1,0. Уч.-взд.л. 1,0. Тираж 100. Заказ 106.

Харьков-108, роталит ННЦ ХФТИ.

469600

AB 29.856

AB 29.856