

РГБ ОД

11 ОКТ 1993

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

БАТРАКОВ Константин Германович

ИНДУЦИРОВАННОЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ
(КВАЗИЧЕРЕНКОВСКОЕ) ИЗЛУЧЕНИЕ

01.04.02 – теоретическая физика

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Минск - 1993

Работа выполнена в Институте ядерных проблем при Белорусском государственном университете

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ

кандидат физико-математических наук ДУБОВСКАЯ И.Я.
(НИИ ядерных проблем при БГУ, г.Минск)

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ

доктор физико-математических наук, профессор КУЗЬМИН Р.Н.
(Московский государственный университет, г.Москва)

доктор физико-математических наук, профессор ФЕРАНЧУК И.Д.
(Белорусский государственный университет, г.Минск)

ВЕДУЩАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ

Киевский государственный университет имени Тараса Шевченко

Защита состоится "____" _____ 1993 года в _____ часов на заседании специализированного совета К.056.03.09 по присуждению ученой степени кандидата наук при Белгосуниверситете по адресу: 220080, г.Минск, пр.Ф.Скорины, 4, гл.корпус, к.206.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского государственного университета.

Автореферат разослан "____" _____ 1993 года

Ученый секретарь специализированного совета
кандидат физико-математических наук

 А.В.Ивашин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Создание генератора излучения в жестком рентгеновском диапазоне является важной задачей лазерной физики. Использование механизма квазичеренковской (параметрической) неустойчивости электронного пучка в пространственно - периодической среде - это одна из альтернативных возможностей решения этой проблемы. Кроме того, использование квазичеренковского механизма излучения позволяет создать более компактные генераторы по сравнению с традиционными в более мягких диапазонах спектра.

Очевидно, что построение последовательной теории индуцированного излучения e^{\pm} пучка в пространственно-периодической среде на основе квазичеренковского механизма является актуальной задачей.

Целью диссертационной работы является комплексное рассмотрение работы квазичеренковского генератора в различных режимах, исследование коллективного излучения релятивистских пучков заряженных частиц в пространственно-периодических средах.

Научная новизна и значимость работы

1. Впервые проведено исследование квазичеренковской (параметрической) неустойчивости электронного пучка в пространственно - периодической среде с учетом поглощения мишени, разброса пучка по скоростям, эффекта квантовой отдачи электрона при излучении фотона.

2. Проведено исследование индуцированного квазичеренковского излучения с учетом конечности области взаимодействия электронного пучка с излучением в рентгеновском диапазоне спектра. Получены пороговые условия генерации индуцированного квазичеренковского излучения в геометрии двухволновой и трехволновой геометрии дифракции. Исследовано влияние внешних брэгговских отражателей на процесс генерации индуцированного квазичеренковского излучения. Во всех этих геометриях определено время развития квазичеренковской неустойчивости электронного пучка.

Исследовано влияние многократного рассеяния электронов пучка на атомах мишени на процесс генерации.

3. Проведено исследование и получены пороговые условия генерации и время развития квазичеренковской неустойчивости в инфракрасном, видимом и ультрафиолетовом диапазонах спектра.

4. Получены выражения, характеризующие спектрально - угловые распределения коллективного спонтанного квазичеренковского излучения.
5. Исследовано квазичеренковское индуцированное излучение в геометрии поверхностной дифракции.

Практическая значимость работы В диссертации проведена оптимизация пороговых значений генерации при различных геометриях дифракции. Получены конкретные значения плотностей электронного пучка и его разброса по скоростям, необходимые для генерации индуцированного квазичеренковского излучения в различных спектрально - угловых диапазонах, в различных режимах генерации.

На защиту выносятся следующие положения

1. Результаты анализа дисперсионных уравнений, описывающих квазичеренковскую неустойчивость в пределе "холодного" электронного пучка, когда разброс частиц по скоростям невелик и в пределе "горячего" пучка, когда разброс частиц является определяющим для процесса индуцированного излучения.
2. Уравнения на порог генерации индуцированного квазичеренковского излучения и результаты их исследования в случае пролета ультрарелятивистского электронного пучка через плоскопараллельную периодическую мишень в следующих объемных геометриях дифракции:
 - двухволновой дифракции;
 - двухволновой дифракции с дополнительными внешними брэгговскими зеркалами;
 - трехволновой дифракции;
 - двухволновой дифракции с учетом зеркального отражения излучения на границах мишени.
3. Влияние многократного рассеяния электронов пучка на процесс генерации индуцированного квазичеренковского излучения.
4. Спектрально-угловые распределения спонтанного коллективного квазичеренковского излучения. Исследование характерных особенностей этого распределения.
5. Анализ поверхностного индуцированного квазичеренковского излучения;

- в геометрии наклонного падения, когда угол между направлением скорости электрона и поверхностью кристалла $\psi \sim \sqrt{|\chi_r|}$ (при $\chi_0 \sim \chi_r$).
- в случае пролета электронного пучка над поверхностью мишени на расстоянии $h \sim \lambda\gamma$.
- в случае пучка, ограниченного в направлении, поперечном направлению движения.

Апробация работы. Результаты работы докладывались на Всесоюзном совещании по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами (Москва, 1988, 1989, 1990, 1993 г.).

Международной конференции по когерентной и нелинейной оптике (Санкт-Петербург, 1991 г.).

Публикации. Основные результаты опубликованы в работах, перечень которых приведен в конце автореферата.

Научный вклад. Содержание работы отражает личный вклад автора. Научному руководителю И.Я.Дубовской и В.Г.Барышевскому принадлежит постановка общей темы исследований, формулировка ряда задач и обсуждении полученных результатов.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка использованной литературы, включающего 84 наименования. Работаложена на 216 страницах машинописного текста, в том числе содержит 19 рисунков на 14 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, формулируются основные положения, выносимые на защиту, указывается новизна и практическая значимость полученных результатов. Здесь же приведен краткий обзор литературы, содержащий библиографические данные по исследуемым проблемам.

В первой главе получены дисперсионные уравнения, описывающие квазицеленковскую неустойчивость в пространственно периодической среде. Обсуждается возможность рассмотрения параметрической неустойчивости с " σ ", " π " и продольной поляризацией индуцированного излучения независимо друг от друга. Дисперсионные уравнения получены с учетом разброса электронного пуч-

ка по скоростям и квантовой отдаче электронов при излучении для многоволновой геометрии дифракции.

Например, для случая "σ" поляризации, дисперсионное уравнение в двухволновой геометрии дифракции имеет вид:

$$\{k^2c^2 - \omega^2(\epsilon_0 - i\Gamma)\}\{k_r^2c^2 - \omega^2\epsilon_0\} - \omega^4r = 0 \quad (1)$$

В (1) $r = \chi_r\chi_{-r}$; $\epsilon_0 = 1 + \chi_0$; χ_0, χ_r - поляризуемости мишени.

$$\Gamma = \begin{cases} -\frac{i}{\gamma} \left(\frac{\omega_L}{\omega}\right)^2 \left(\frac{\vec{u}\vec{e}_\sigma}{c}\right)^2 \frac{k^2c^2 - \omega^2}{(\omega - \vec{k}\vec{u})^2 - \frac{k^2(k^2c^2 - \omega^2)^2}{4m^2c^4\gamma^2}} & \text{в пределе} \\ & \text{"холодного" пучка} \\ -\frac{\sqrt{\pi}}{\gamma} \left(\frac{\omega_L}{\omega}\right)^2 \left(\frac{\vec{u}\vec{e}_\sigma}{c}\right)^2 \frac{k^2c^2 - \omega^2}{\delta_0^2} x^t \exp\{-x^t\} & \text{в пределе} \\ & \text{"горячего" пучка} \end{cases}$$

ω_L - лангмюровская частота электронного пучка, $x^t = (\omega - \vec{k}\vec{u})/(\sqrt{2}\delta_0)$;
 $\delta_0^2 = (k_1^2\Psi_1^2 + k_2^2\Psi_2^2 + k_3^2\Psi_3^2)u^2$; $\Psi_i = \Delta u_i/u$ - тепловые разбросы электронного пучка по скоростям.

Проводится подробное исследование полученных дисперсионных уравнений, в результате чего определены параметры системы, при которых возможна квазицерековская неустойчивость, а также переход от конвективной неустойчивости к абсолютной. Показано, что в случае Лауэ может развиваться только конвективная неустойчивость, а в геометрии Брэгга может развиваться как конвективная, так и абсолютная неустойчивость, причем характер неустойчивости определяется соотношением между плотностью пучка, величиной его разброса и поглощением мишени.

Во второй главе построена линейная теория объемного квазицерековского ЛСЭ в случае конечной области взаимодействия электронного пучка с излучением.

Для допороговой области получены амплитуды усиленных волн при падении внешнего излучения на входную и выходную относительно электронного пучка грани. Получены пороги генерации для двухволнового, трехволнового случаев, исследуется влияние вырождения корней дифракционного уравнения на характер пороговых зависимостей.

В двухволновой геометрии дифракции пороговое значение генерации индуцированного квазицеренковского излучения вблизи точки вырождения дифракционных корней дается выражением:

$$G = \left(\frac{\gamma_0 c}{u \bar{n}}\right)^3 16\pi^2 n^2 [-\beta(k\chi_r L_*)^2 k L_*]^{-1} + \chi_0'' [1 - \beta \pm \frac{r'' \sqrt{-\beta}}{|\chi_r| \chi_0''}] \quad (2)$$

В (2) $\beta = \gamma_0/\gamma_1$ - фактор асимметрии брэгговской дифракции, γ_0, γ_1 - косинусы дифракции, \bar{n} - нормаль к поверхности мишени, на которую падает электронный пучок; $\chi_0'' = \text{Im}\chi_0$, $r'' = \text{Im}(\chi_r \chi_{-r})$; n - целое число, $L_* = Lu/(\bar{n}u)$, L - длина мишени.

$$G = \begin{cases} \frac{\pi^2 n^2}{4\gamma} k^2 L_*^2 \left(\frac{\omega L}{\omega}\right)^2 (\chi_0' \pm \sqrt{-\beta} |\chi_r| - \gamma^{-2})(\chi_0' \pm \sqrt{-\beta} |\chi_r|) f(x) \sin^2 \varphi \\ \text{- в случае "холодного" классического пучка} \\ \\ -\frac{\sqrt{\pi}}{\gamma} \left(\frac{\omega L}{\omega}\right)^2 \frac{\omega^2 (\chi_0' \pm \sqrt{-\beta} |\chi_r| - \gamma^{-2})(\chi_0' \pm \sqrt{-\beta} |\chi_r|)}{\delta_0^2} f'(x') \sin^2 \varphi \\ \text{- в случае "горячего" пучка} \\ \\ \frac{\pi^2 n^2}{2} \left(\frac{\omega L}{\omega}\right)^2 \frac{mc^2}{\hbar \omega} k L_* (\chi_0' \pm \sqrt{-\beta} |\chi_r| - \gamma^{-2}) f_{\text{кв}}(x) \sin^2 \varphi \\ \text{- в случае "квантового" предела генерации} \end{cases}$$

$$f(x) = \sin(x) \frac{(2x + \pi n) \sin(x) - x(x + \pi n) \cos(x)}{x^3 (x + \pi n)^3};$$

$$f_{\text{кв}}(x) = \frac{\sin^2 x}{x^2 (x + \pi n)^2}; \quad x = \frac{(\omega - k\bar{u}) L_*}{2u};$$

$$f'(x') = x' \exp\{-(x')^2\}$$

Полученное выражение (2) имеет очевидный физический смысл: слева стоит слабое, описывающее наработку излучения электронным пучком, это слабое зависит от режима генерации (режимы "холодного" и "горячего" пучков). Слабые в правой части описывают потери излучения на счет выхода из области взаимодействия и поглощения излучения в мишени и не зависят от режима генерации.

В области вырождения дифракционных корней увеличивается как коэффициент усиления, так и коэффициент поглощения, однако, коэффициент поглощения увеличивается сильнее (ввиду существования в двухволновой геометрии ограничения на фактор асимметрии):

$$|\beta| > \left(\frac{|\chi_0| + \gamma^{-2}}{\chi_r} \right)^2 \quad (3)$$

Поэтому, для уменьшения влияния поглощения излучения на атомах вещества в диссертации исследуется возможность работы генератора в области с меньшим поглощением. Как показано в п. 2.4, одной из альтернативных возможностей уменьшения влияния поглощения является использование внешних брэгговских отражателей. Показано, что в системе без внешних отражателей порог генерации достигается только в области вырождения корней (в случае слабого усиления $|k_z''L| \ll 1$), что приводит в двухволновой дифракции в силу вышесказанного к большому поглощению. Применение внешних брэгговских резонаторов позволяет осуществить генерацию индуцированного квазичеренковского излучения в области значений, далекой от вырождения. При этом, требования на пороговые значения плотности тока электронного пучка существенно снижаются (примерно на порядок). В результате проведения оптимизации величины порогового тока по фактору асимметрии дифракции и по параметру отклонения Брэгга в двухволновой геометрии дифракции с брэгговскими резонаторами, получены следующие значения для пороговых плотностей тока в рентгеновском диапазоне спектра ($\omega \geq 3 \cdot 10^{18} \text{ s}^{-1}$):

1. Для "холодного" классического электронного пучка $j \approx 3 \cdot 10^8 \text{ A/cm}^2$;
2. В случае, когда пучок является "горячим" $\psi_1 = 10^{-5}$, $\gamma = 10^3 \rightarrow j = 2 \cdot 10^9 \text{ A/cm}^2$;
3. В случае, когда осуществляется квантовый режим генерации, $j = 10^7 \text{ A/cm}^2$.

Еще одной альтернативной возможностью уменьшения влияния поглощения является переход к многоволновой геометрии дифракции. В этом случае возможно совмещение области черенковского синхронизма с областью малого поглощения даже вблизи вырождения корней. В п. 2.5 проведено исследование генерации индуцированного излучения в геометрии трехволновой дифракции. Получены пороговые условия генерации в этом случае. Показано, что оптимальной с точки

орения уменьшения порогового тока является геометрия Брэгг-Лауэ. В этой геометрии условия фазового синхронизма электронного пучка с электромагнитной волной и условия вырождения накладывают следующие ограничения на параметры системы:

$$\beta_1 \beta_2 \{ (\theta^2 + \gamma^2 - \chi_0')^2 + \beta_1 r_1 + \beta_2 r_2 \} < 0 \quad (4)$$

Из (4) следует, что в геометрии "Брэгг-Лауэ" генерация индуцированного квазицеренковского рентгеновского излучения может осуществляться даже при небольших значениях факторов асимметрии дифракции (большим значениям факторов асимметрии отвечает большая величина поглощения).

Оценка, проведенная на основании полученных в п.2.5 выражений для пороговых условий генерации дает следующее значение порогового тока при трехволновой дифракции в геометрии "Брэгг-Лауэ" в кристалле Li H: $j = 2 \cdot 10^8 \text{ A/cm}^2$.

В п.2.6 исследуются особенности генерации излучения в инфракрасном, видимом и ультрафиолетовом диапазоне излучения с учетом зеркально-отраженных волн. Получены общие выражения, описывающие развитие абсолютной квазицеренковской неустойчивости в этих диапазонах, которые в предельном случае малой диэлектрической восприимчивости $|\chi_0| \ll 1$ переходят в соответствующие выражения, полученные ранее для рентгеновского диапазона. Показано, в каких случаях предложенная неоднородная геометрия генерации является более выгодной по сравнению с традиционными одномерными системами.

В п.2.7 исследовано влияние многократного рассеяния электронов на процесс генерации индуцированного квазицеренковского излучения. Показано, что при непосредственном пролете электронного пучка через мишень в случае объемной геометрии дифракции, процесс многократного рассеяния оказывает сильное разрушающее воздействие на процесс генерации индуцированного излучения. В рентгеновском диапазоне пороговый ток, при учете многократного рассеяния достигает $j \sim 10^{11} \text{ A/cm}^2$. Исходя из этого сделан вывод о необходимости проводки электронного пучка в щели, проделанной в мишени, или над поверхностью мишени, на расстоянии $h \sim \lambda \gamma$, что позволяет подавить эффект многократного рассеяния.

В третьей главе получены спектрально-угловые распределения коллективного квазицеренковского излучения в двух случаях:

- в области параметров, далеких от порога генерации, в ситуации, когда коллективное излучение меньше спонтанного одночастичного;
- в области параметров, вблизи пороговых значений.

Определены оптимальные значения параметров для наблюдения коллективного излучения, получено интегральное количество коллективных фотонов. В рентгеновской области спектра $\omega \sim 3 \cdot 10^{18} \text{ с}^{-1}$ вероятность излучения коллективного фотона при пролете электронного пучка через кристалл оказывается равной $W = 10^{-7}$ фотон/электрон для двухволновой геометрии, в области параметров, вблизи порога генерации (при длине электронного пучка $L_e = 30 \text{ см}$).

В четвертой главе рассмотрена генерация индуцированного квазичеренковского излучения в поверхностной геометрии дифракции.

В п.4.1 рассмотрено индуцированное излучение в геометрии наклонного падения, когда угол падения электронного пучка к поверхности мишени $\psi \sim \sqrt{|\chi_0|}$. В этом случае показано, что вырождение корней происходит только при $\tau_e \neq 0$. Причем, в поверхностной геометрии дифракции даже в двухволновом случае существуют области трехкратного и даже четырехкратного вырождения корней дисперсионного уравнения. Показано, что в этих областях потери излучения на границах мишени существенно уменьшаются при развитой динамической дифракции, изменяется функциональная зависимость пороговых условий длины мишени. Кроме того в геометрии наклонного падения существует возможность уменьшения потерь излучения на границах при $[\gamma_0 c / (\tilde{n} \tilde{u})]^3 \ll 1$ за счет того, что путь, пройденный фотоном в мишени определяется величиной $L_\gamma \sim L / \gamma_0$, а путь, пройденный электроном $L_e \sim L u / (\tilde{n} \tilde{u})$. Все это делает возможным несколько уменьшить пороговое значение тока, с учетом многократного рассеяния до значения $j = 3 \cdot 10^{10} \text{ А/см}^2$.

В п.4.2 проведено исследование генерации в случае, когда электронный пучок ограничен в поперечном направлении. Показано, что требования на поперечный размер пучка не являются критическими. Например, в рентгеновском диапазоне, для того, чтобы процесс генерации проходил, как в бесконечном пучке, необходима ширина пучка $d \geq 10^{-4} \text{ см}$.

Ввиду того, что многократное рассеяние существенно повышает пороговые значения плотности тока, в п.4.3, для подавления этого некогерентного эффекта рассматривается генерация индуцированного излучения при пролете электронного пучка над поверхностью мишени. Показано, что при пролете незамагниченного

пучка индуцированное излучение не генерируется, несмотря на существование спонтанного одночастичного излучения. Причину этого эффекта легко понять на квантовом языке. Процессы излучения и поглощения фотона электроном удовлетворяют законам сохранения энергии и импульса: $\vec{p}_1 = \vec{p} \mp \hbar \vec{k}$; $E_1 = E \mp \hbar \omega$. Подставляя одно из этих равенств в другое, получим условие синхронизма в виде:

$$\omega_{\pm} - \vec{k} \vec{u} \pm \frac{\hbar(k^2 c^2 - \omega_{\pm}^2)}{2mc^2 \gamma} = 0 \quad (5)$$

Из выражения (5) следует, что при пролете пучка над поверхностью мишени (или в вакуумной щели, проделанной в мишени), частота излучения кванта электроном ω_+ совпадает с частотой поглощения ω_- и, таким образом, индуцированное квазичеренковское излучение, пропорциональное $\sim w_{сп}(\omega_+) - w_{сп}(\omega_-) = 0$. Здесь $w_{сп}$ - спектрально-угловая плотность спонтанного одночастичного квазичеренковского излучения. В замагниченном электронном пучке, в отличие от свободного пучка закон сохранения импульса выполняется только вдоль направления магнитного поля ($p_{1r} = p_r \mp \hbar k_r$) и вырождение по частотам снимается. Для этого случая получены и исследованы уравнения генерации. Показано, что в случае "холодного" пучка неустойчивость имеет беспороговый характер: 1) при $\omega''/\omega \gg \chi_0'' \rightarrow \omega''/\omega = \{a_1(\omega_L/\omega)^2/\gamma^5\}^{1/2}$; 2) при больших потерях ($\omega''/\omega \ll \chi_0''$) развивается диссипативная неустойчивость, описываемая инкрементом: $\omega''/\omega = \{a_2(\omega_L/\omega)^2/(\gamma^5 \chi_0'')\}^{1/2}$. В случае "горячего" пучка, неустойчивость имеет пороговый характер: $\omega''/\omega = a_4(\omega_L/\omega)^2(\omega/\delta_0)^2/\gamma^5 - a_5 \chi_0''$. Уравнения генерации исследованы как для случая $|\chi_0| \gg |\chi_r|$, так и для случая $|\chi_0| \sim |\chi_r|$, таким образом полученные результаты применимы для широкого диапазона частот (от инфракрасного до рентгеновского). В конце главы 4 получено спектрально-угловое распределение индуцированных квантов для поверхностной геометрии.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Получены и исследованы дисперсионные уравнения для многоволновой квазичеренковской неустойчивости пучка релятивистских заряженных частиц в пространственно периодических средах с учетом поглощения, теплового разброса пучка по скоростям, квантовой отдачи электрона при излучении квантов.

2. Получены уравнения генерации, определены пороговые условия и скорость развития неустойчивости в двухволновой объемной геометрии дифракции:

- в пределе "горячего" пучка;
- в пределе "холодного" пучка;
- в квантовом режиме генерации;
- при использовании дополнительных внешних брэгговских отражателей. Показано, что в этом случае, кроме уменьшения потерь излучения на границах, можно существенно уменьшить влияние поглощения на процесс генерации индуцированных квантов.

3. Получены и исследованы уравнения генерации в геометрии трехволновой компланарной дифракции. Показано, что эта геометрия обладает рядом преимуществ перед двухволновой:

- в области параметров, соответствующих пересечению трех корней, потери на границах при развитой динамической дифракции ($k | \chi_r | L \gg 1$) существенно уменьшаются по сравнению с двухволновым случаем;
- для рентгеновской области, в геометрии трехволновой дифракции в области двухкратного вырождения корней можно подобрать параметры, при которых поглощение оказывает на процесс генерации меньшее влияние, чем в двухволновой геометрии дифракции без внешних брэгговских резонаторов.

4. Исследовано индуцированное квазичеренковское излучение в инфракрасном, видимом и ультрафиолетовом диапазонах спектра. Получены пороговые условия и времена развития неустойчивости в случае произвольной величины χ_0 . При $|\chi_0| \ll 1$ эти выражения переходят в полученные ранее выражения для рентгеновского диапазона. Показано, что предложенная схема имеет ряд преимуществ перед традиционной одномерной геометрией за счет возможности оптимизации порогового тока по фактору асимметрии дифракции β .

5. Получены спектрально-угловые распределения коллективного квазичеренковского излучения в области близкой и далекой от порога. Приведены зависимости количества излученных квантов от параметров дифракции. В области, вблизи порога получено интегральное количество γ -квантов. Обсуждается возможность экспериментального наблюдения коллективного квазичеренковского излучения в различных диапазонах спектра.

6. Исследуется генерация индуцированного квазичеренковского излучения в поверхностной геометрии дифракции:

- показано, что в геометрии наклонного падения электронного пучка на поверхность кристалла ($\psi \sim \sqrt{|\chi|}$) становится возможным уменьшение потерь излучения на границах мишени, как за счет дополнительного вырождения дифракционных корней по сравнению со случаем объемной геометрии дифракции, так и за счет разности длины пути, проходимого электроном $L_e = (Lu)/(\tilde{n}u)$ и фотоном $L_\gamma = L/\gamma_0$ в веществе;

- получены уравнения генерации и определены времена развития квазичеренковской неустойчивости при пролете электронного пучка над поверхностью мишени;

- найдены пороговые условия для пучка частиц, ограниченном в поперечном направлении. Показано, что требования на ширину пучка не являются критическими с точки зрения реализации.

Основные результаты опубликованы в следующих работах:

- [1] Батраков К.Г., Дубовская И.Я. Черенковская неустойчивость пучка в пространственно - периодической среде // Изв.АН БССР, сер.физ.-мат. - 1990. - N 5.-С.82-86.
- [2] Барышевский В.Г., Батраков К.Г., Дубовская И.Я. ЛСЭ на параметрическом (квазичеренковском) излучении // Изв. АН БССР. Сер.физ.-энерг.- 1991. - N1.- С.53-60.
- [3] Baryshevsky V.G., Batrakov K.G., Dubovskaya I.Ya. Parametric (quasi Cerenkov) X-ray FEL // Journ.Phys.D.- 1991.- V.24.-P.1250-1258.
- [4] Baryshevsky V.G., Batrakov K.G., Dubovskaya I.Ya. Induced radiation from a relativistic electron beam in periodic structures // Phys.Stat.Sol.(b)- 1992. - V.169.- P.235-241.
- [5] Барышевский В.Г., Батраков К.Г., Дубовская И.Я. Оптический параметрический лазер на свободных электронах с трехмерной распределенной обратной связью // Изв. АН БССР. Сер.физ.-техн.-1992. N 3. - С.99-106.

- [6] Барышевский В.Г., Батраков К.Г. О влиянии квантовой отдачи на порог генерации параметрического рентгеновского ЛСЭ // Изв. АН БССР. Сер. физ.-техн.-1992. - N 3.- С.94-99.
- [7] Батраков К.Г., Дубовская И.Я. Оптическое параметрическое излучение релятивистских частиц // Материалы 18 Всесоюзного совещания по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллом.-1989.-Изд.МГУ.-С.93-95.
- [8] Барышевский В.Г., Батраков К.Г., Дубовская И.Я. Дифракционные аномалии спектрально-углового распределения излучения релятивистских электронов в кристаллах // Материалы 20 Всесоюзного совещания по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллом. - 1991.-Изд.МГУ.-С.88-90.
- [9] Барышевский В.Г., Батраков К.Г., Дубовская И.Я. Коллективное спонтанное параметрическое рентгеновское излучение // Материалы 19 Всесоюзного совещания по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами.-1990.-Изд.МГУ.-С.105-107.
- [10] Барышевский В.Г., Батраков К.Г., Дубовская И.Я. Рентгеновский ЛСЭ на параметрическом (квазичеренковском) излучении // 14 международная конференция по когерентной и нелинейной оптике.-1991.-Ленинград. С.100.
- [11] Барышевский В.Г., Батраков К.Г., Дубовская И.Я. Индуцированное квази-черенковское рентгеновское поверхностное излучение // Тезисы докладов 23 Международного совещания по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллами.-1993.-Изд.МГУ.-С.50.
- [12] Барышевский В.Г., Батраков К.Г., Дубовская И.Я., Шалатонина А.В. Воздействие ультразвуковой волны на развитие параметрической (квазичеренковской) неустойчивости в кристалле // Материалы 20 Всесоюзного совещания по физике взаимодействия заряженных частиц с кристаллом.-1991.-Изд.МГУ.-С.65-67.

Юдписано к печати 12.08.93 Формат 60x84 1/16 Бумага № 1. Усл. печ. л. 10

/ч.-изд. л. 93 Тираж 100 экз. Заказ № 2086. Бесплатно

Утпечатано на роталпринте АН Беларуси

Минск, пр. Ф. Скорины, 66