

ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ

Վարդանյան Աշոտ Սարգսի

ԲԱՐՁՐ ԼԱՐՎԱԾՈՒԹՅԱՄԲ ԱՐԱԳԱՑՄԱՆ
ԴԱՇԵՐԻ ԳՐԳՈՒՄԸ ԱԼԻՔՏԱՐՆԵՐՈՒՄ ՀԻՄՆՎԱԾ
ՉԵՐԵՆԿՈՎՅԱՆ ՃԱՌԱԳԱՅԹՄԱՆ ՎՐԱ

Ա.04.20. «լիցքավորված մասնիկների փնջերի ֆիզիկա և տեխնիկա»
մասնագիտությամբ ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի
գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

ՍԵՂԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ - 2000

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Варданян Ашот Саркисович

ГЕНЕРАЦИЯ УСКОРЯЮЩИХ ПОЛЕЙ С ВЫСОКОЙ
НАПРЯЖЕННОСТЬЮ С ПОМОЩЬЮ ЧЕРЕНКОВСКОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ В ВОЛНОВОДАХ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата
физико-математических наук по специальности
01.04.20.- физика и техника пучков заряженных частиц

ЕРЕВАН - 2000

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Երևանի Պետական Համալսարանում

- Գիտական ղեկավար. Ֆիզմաթ. գիտությունների դոկտոր, պրոֆեսոր Է.Ղ. Գազազյան
- Պաշտոնական ընդդիմախոսներ. Ֆիզմաթ. գիտությունների դոկտոր, պրոֆեսոր Է.Ս. Լազիև (ԵրՖԻ)
Ֆիզմաթ. գիտությունների թեկնածու Ս.Ա. Ելբակյան (ԵրՖԻ)
- Առաջատար կազմակերպություն՝ ՀՀ ԳԱԱ Ֆիզիկական Հետազոտությունների Ինստիտուտ

Պաշտպանությունը կայանալու է 2000թ. օգոստոսի 1-ին ժամը 14.00 - ին Երևանի Ֆիզիկայի Ինստիտուտի 024 մասնագիտական խորհրդում (Երևան-36, Ալիխանյան եղբայրների փ. 2):

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵրՖԻ-ի գրադարանում:

Սեղմագիրը առաքված է 2000թ. հուլիսի 1-ին

Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար *Վ.Կ. Կ* Ա.Թ. Սարգսյան

Тема диссертации утверждена в Ереванском Государственном Университете

Научный руководитель: доктор физ.-мат. наук, профессор Э.Д. Газазян

Официальные оппоненты: доктор физ.-мат. наук, профессор Э.М. Лазиев (ЕрФИ)
кандидат физ.-мат. наук С.С.Элбакян (ЕрФИ)

Ведущая организация: Институт Физических Исследований НАН РА

Защита состоится 1 августа 2000г. в 14.00 часов на заседании специализированного совета 024 Ереванского Физического Института (Ереван36, ул. Братьев Аликханян 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института

Автореферат разослан 1 июля 2000г.

Ученый секретарь спец. совета *А.Т. Маргарян* А.Т. Маргарян

Актуальность темы

Разработка новых методов ускорения и конструирование высокоградиентных волноводных и резонаторных структур приводит к необходимости создания расчетно-теоретических основ генерации мощного электромагнитного излучения. Поэтому исследование механизма черенковского излучения плотных (сильноточных) электронных сгустков в волноводных структурах является актуальной задачей современной физики и техники ускорителей и в развитии схемы двухпучкового ускорения.

Исследования, проведенные ранее [1-5], утверждают также, что все излученные черенковские моды распространяются с одинаковыми фазовыми и одинаковыми групповыми скоростями в бездисперсной среде и, тем самым, они формируют плотные волновые пакеты, движущиеся за частицей. Там же показано, что в действительности групповая скорость зависит от моды, однако для прозрачных диэлектриков эта зависимость слабая и сводится лишь к незначительному размыванию волнового пакета. Это обстоятельство делает целесообразным использование механизма черенковского излучения для ускорения заряженных частиц. Если заметить при этом, что в случае достаточно протяженной периодической последовательности плотных сгустков в волноводе может быть реализован одномодовый режим генерации на частоте их следования с высоким значением напряженности поля, то станет очевидным, почему указанный механизм в двухпучковой схеме ускорения является многообещающим.

Схему пучок-пучкового взаимодействия, основанного на механизме черенковского излучения ведущего пучка, следуя принятой терминологии, будем называть схемой wake-field. Впервые с таким предложением выступил Я. Файнберг в 1956 году на симпозиуме по коллективным методам ускорения [6]. Результаты своих исследований он изложил затем в [7]. В дальнейшем наиболее последовательно такие исследования

проводились Б.М. Болотовским в ФИАН СССР [8]. В 80-ые годы и в начале 90-ых возобновился интерес к обсуждаемой проблеме. Этим объясняется появление работ R. Keinigs-a и M. Jons-a [9], M. Rosing-a и W. Gai-a [10], носящих теоретический характер, а также экспериментальная работа W. Gai-a и др. [11] и т.д. Исследования, проводимые в Аргонской лаборатории США, отражены также в работе S. Mtingwa [12] и J. Chiu и [13]. Между тем, схема двухпучкового ускорения становится особенно заманчивой и перспективной, если она реализуется в системе с разнесенными траекториями для ускоряемого и ускоряющего пучков. Такой системой является бицилиндрический волновод, заполненный диэлектриком. В диссертации обосновывается возможность реализации двухпучковой схемы ускорения (wake-field) на базе механизма черенковского излучения в бицилиндрическом волноводе, обладающем двумя осями, вдоль одной из которых летит ускоряющий (излучающий) пучок в виде периодической последовательности электронных сгустков с заданным законом распределения зарядов в сгустке, а вдоль второй — ускоряемый (ведомый) пучок. Целью работы является определение ожидаемых ускоряющих напряжений (темпа ускорения), которые могут быть генерируемы в бицилиндрическом волноводе с периодической последовательностью достаточно плотных электронных сгустков, которые пролетают вдоль оси канала, прорезанного в диэлектрике, заполняющем бицилиндрический волновод. Расположение и размеры этих каналов (второй канал для пролета ускоряемого пучка) обусловлены свойствами собственных функций бицилиндрического волновода, а сами эти каналы прорезаны с целью уменьшения поляризационных (боровских) потерь, возникающих при взаимодействии электронного пучка со средой (см. например [1], [5]).

Научная новизна

1. Разработаны расчетно-теоретические основы для определения полей черенковского излучения сгустка электронов и периодической последовательности сгустков, движущихся вдоль оси круглого цилиндрического или вдоль одной из осей бицилиндрического волновода.
2. Исследовано излучение периодической последовательности сгустков в волноводе и определены условия установления одномодового режима с высокой напряженностью продольной компоненты электрического поля.
3. Исследована роль дисперсии диэлектрической проницаемости в реальных прозрачных средах в волноводе и ее влияние на частотный спектр, и на ожидаемые напряженности полей излучения электронных сгустков.
4. Развита теория черенковского излучения в круглом цилиндрическом волноводе с каналом, прорезанным в заполняющей среде, вдоль оси волновода. Разработан метод определения размеров для получения одномодового режима излучения.
5. Исследован механизм черенковского излучения в волноводе с коаксиально-слоистым диэлектрическим заполнением. Разработан метод определения излучения для слоистой среды в случае малых по сравнению с длиной волны толщины кольцеобразного заполнения
6. Исследовано влияние тонкого проводящего слоя на формирование полей черенковского излучения; исследовано также условие выбора оптимальной квазипроводящей среды для обеспечения удаления электростатических зарядов с поверхности канала, обеспечивая при этом малые величины затухания генерируемых волн.

7. Исследовано черенковское излучение в волноводе с произвольным поперечным сечением, исследованы случаи бицилиндрического волновода и разработан метод учета влияния каналов, прорезанных вдоль обеих осей, на формирование черенковского излучения и обеспечение возбуждения одномодового режима в волноводе.

В диссертации выдвинуты и обоснованы тезисы:

- Механизм черенковского излучения может быть эффективно использован в двухпучковой схеме ускорения в волноводах;
- Бицилиндрическая структура, обладающая двумя осями для ведущего и ведомого пучков, может служить модулем ускоряющей структуры с высоким темпом ускорения.

Апробация работы

Основные результаты диссертации изложены в четырех статьях, три из которых опубликованы, одна отправлена в печать, и в двух докладах, представленных на международной конференции EPAC-2000 [Vienna, June 26-July 2, 2000], и на семинаре в BESSY [Berlin, 17. 05. 2000], а также на семинарах лаборатории новых методов ускорения ЕрФИ и на семинаре ЕГУ.

Структура и объем диссертационной работы обусловлены намеченными выше проблемами. Она состоит из четырех глав, введения и заключения. Работа имеет также приложения, куда отнесена громоздкая часть выводов формул и программ. Объем диссертации - 96 страниц, включая 27 рисунков. Список литературы состоит из 25 наименований.

Содержание работы

В первой главе диссертации рассматривается проблема формирования полей черенковского излучения электронного сгустка и периодической последовательности сгустков в волноводе, заполненном диэлектриком, с учетом влияния дисперсии. Как модельная задача рассматривается случай круглого цилиндрического волновода, допускающий строгое аналитическое решение, позволяющее анализировать точные выражения и делать исчерпывающие выводы. В качестве модели диэлектрической проницаемости используется экстраполяционная формула Дебая. Развиваются два метода решения задачи: первый - решение граничной задачи методом разложения потенциалов (полей), токов и зарядов в интеграл Фурье. Этот метод основан на работе Б.М. Болотовского [1], где рассматривается случай излучения точечного заряда. В § 1.1. разработана методика расчета полей цилиндрических сгустков, излучающих черенковские волны. Второй метод - метод разложения полей и зарядов по собственным функциям первой краевой задачи волновода описан в § 1.2. Этот метод был развит в работе [2]. Дело в том, что в случае каналов, прорезанных в диэлектрике, заполняющем волновод, применение метода собственных функций затруднительно и нецелесообразно, если не сказать, что невозможно. Следовательно, решение задачи при наличии каналов можно проводить лишь первым методом, непосредственно решая граничную задачу. В § 1.3. подробно исследован спектр черенковского излучения одиночного сгустка с гауссовским распределением заряда вдоль его длины с учетом дисперсии среды. При этом рассматривается случай среды (тефлон), значение диэлектрической проницаемости которой хорошо аппроксимируется формулой Дебая в интересующем нас диапазоне частот ($\lambda = 10\text{см}$), если выбрать характерное время релаксации, равным $\tau = 7.22 \cdot 10^{-13}$ сек [22].

Описывается процесс обрезания спектра (§ 1.4.) с ростом частоты, что приводит к конечному числу мод, эффективно участвующих в формировании поля черенковского излучения одиночного сгустка. Здесь иллюстрирована также зависимость изменения групповой скорости от частоты и показано, что спектр черенковского излучения одиночного сгустка обрывается на той моде, групповая скорость которой ближе всех подходит к значению фазовой скорости волны $v_{\phi} = v$, оставаясь меньше этого значения $v_{гр} < v_{\phi}$ [22].

В § 1.4. показано, что в случае периодической последовательности таких сгустков в волноводе генерируется лишь одна мода, частота которой равна частоте следования сгустков, тогда как все остальные моды затухают, подвергаясь деструктивной интерференции. В волноводе устанавливается одномодовый режим на частоте этой моды с очень большим значением амплитуды (так, в нашем случае, т. е. на Линус-20 ЕрФИ - порядка 300 МВ/м при $3 \cdot 10^4$ сгустков в последовательности, и при $3 \cdot 10^9$ электронов в каждом из них, и частоте следования 3 ГГц). Результаты иллюстрируются на рисунках.

Основные результаты исследований, включенных в первую главу, сводятся к следующему:

- В случае черенковского излучения периодической последовательности достаточно плотных электронных сгустков в волноводе устанавливается одномодовый режим на частоте следования сгустков с высоким значением напряженности поля;
- Наличие дисперсии сводится в основном к ограничению числа мод, участвующих в формировании черенковского излучения одиночного излучающего сгустка.

Во второй главе рассматривается черенковское излучение в круглом цилиндрическом волноводе с каналом, прорезанным вдоль оси волновода. При непосредственном взаимодействии пучка со средой возникают потери, соответствующие нулю диэлектрической проницаемости, которые носят название поляризационных или боровских потерь. Физика этого явления описана в [5], а само явление приводит к тому, что излучающая частица, теряя энергию, быстро тормозится и, в частности, перестает генерировать черенковское излучение. Эффект обусловлен полюсами в выражениях для полей, соответствующими нулевому значению диэлектрической проницаемости [5]. При этом поля становятся продольными и не могут соответствовать полям излучения. Обычно при рассмотрении черенковского излучения эти полюса отбрасывают из рассмотрения (см. например [1], а также работу [22]). Более естественным является создание канала для пролета частиц. Еще в 1947г. В.Л. Гинзбург и И.М. Франк [14] показали, что при пролете частиц вдоль оси канала, прорезанного в диэлектрике, возбуждается черенковское излучение в окружающей частицу среде, причем на длинах волн, превышающих радиус канала, это излучение практически не отличается от излучения в сплошной среде (без канала). Поляризационные потери при этом существенно уменьшаются.

Как было указано выше, наличие каналов делает применимость метода собственных функций проблематичной, и задача решается (§ 2.1) первым из рассматриваемых в диссертации методом - разложением потенциалов, токов и зарядов в интеграл Фурье, решением дифференциального уравнения с последующим удовлетворением граничным условиям на стенках волновода и на границах канала [23]. Показано, что для установления одномодового режима при излучении периодической последовательности сгустков необходимо,

задаваясь частотой следования сгустков (частотой выбранной моды), определить соответствующий радиус волновода в зависимости от радиуса канала в диэлектрике. Во второй главе (§ 2.2) разработан алгоритм определения такого радиуса, который назван нами "резонансным" радиусом. Как и следовало ожидать, наличие канала приводит также к ограничению числа мод сверху, т.к. для высших мод длина волны может стать намного короче радиуса канала и интенсивность черенковского излучения существенно ослабляется. По полученным в §§ 2.1, 2.2 формулам проведены численные расчеты, результаты которых иллюстрированы на графиках (§ 2.3). Показано, что в пределах канала распределение продольной компоненты поля вдоль радиуса квазиравномерное (с малым ростом к границе диэлектрика), а затем обращается в нуль на металлической стенке волновода, причем внутри канала и на его оси наблюдаются значительные величины напряженности поля. В случае периодической последовательности сгустков (с гауссовским распределением заряда вдоль каждого сгустка) и при соответствующем выборе "резонансного" радиуса волновода, когда в волноводе устанавливается одномодовый режим, соответствующий параметрам пучка стенда ЕрФИ Линус-20 на частоте следования сгустков, напряженность продольной электрической компоненты поля излучения может достигать значений 200 МВ/м [23]. Такие высокие значения полей подтверждают идею об эффективности использования черенковского механизма в двухпучковой схеме ускорения. Такой основной вывод может быть сделан из исследований, включенных во вторую главу.

Третья глава посвящена исследованию влияния каналов на формирование поля черенковского излучения. В первом параграфе рассматривается случай коаксиально-слоистого диэлектрического заполнения. После несколько громоздких расчетов, впоследствии однако ставших физически достаточно

прозрачными, получились выражения для продольной электрической компоненты поля черенковского излучения в каждом из коаксиальных слоев [24]. Разработан также алгоритм определения соответствующего "резонансного" радиуса волновода в зависимости от диаметров коаксиальных слоев в диэлектрике для случая периодической последовательности сгустков, когда в волноводе устанавливается одномодовый режим на частоте следования сгустков. Полученные формулы позволяют исследовать формирование черенковских полей, равно как частотный спектр этих волн. Показано, что в тех слоях, где не выполняются условия Черенкова, распределение продольной компоненты электрического поля квазиравномерное и его спадание к границе волновода носит ступенчатый характер, оставаясь квазипостоянным в указанных областях [24]. Такой характер распределения поля удобен для осуществления ускорения сгустков заряженных частиц.

При прохождении пучков заряженных частиц (электронов) через каналы на стенках этих каналов накапливается электростатический заряд, плотность которого будет расти с прохождением все новых и новых сгустков. Кроме того, что накопленный заряд будет мешать прохождению частиц и осуществлению процесса ускорения, он может привести также к пробоям и разрушению диэлектрика. Для устранения накопленного электростатического заряда с поверхности каналов целесообразно рассмотреть возможность нанесения на его поверхность тонкого проводящего слоя с последующим его заземлением. Естественно, что такое покрытие привнесет свое влияние на формирование полей черенковского излучения. Во втором параграфе третьей главы поставлена и решена задача о черенковском излучении заряженных сгустков, пролетающих через канал, прорезанный вдоль оси волновода, заполненного диэлектриком, когда внутренняя поверхность диэлектрика

покрыта тонким проводящим слоем. Здесь же проведено исследование черенковского излучения в тонком диэлектрическом кольцевом слое в волноводе. Это исследование, помимо чисто практического значения определения эффекта толщины слоя, имеет также познавательный интерес в понимании черенковского эффекта. Дело в том, что эффект Черенкова в волноводах заключается в достижении синхронизма между движением излучающей частицы и скоростью излученных волн. Естественно, что при уменьшении толщины диэлектрического слоя и устремлении ее к нулю излучение исчезнет (в отсутствии среды). Следовательно, в зависимости от частоты волновод становится запредельным, эффективность излучения с уменьшением толщины слоя смещается в сторону высоких частот и отсутствует на основной моде, соответствующей частоте следования сгустков.

Задача решалась методом, развитым в первом параграфе настоящей главы (подробности счета приведены в приложении). С помощью полученных аналитических выражений исследован эффект влияния (затухания) полей из-за наличия проводящего слоя на границе диэлектрика, в котором, собственно, возбуждается черенковское излучение пролетающими через канал сгустками [15]. С помощью разработанных в диссертации программ проведен численный анализ, позволяющий утверждать, что и при наличии тонкого проводящего слоя, нанесенного на внутреннюю поверхность канала для устранения накопленного там статического заряда, в случае периодической последовательности заряженных сгустков в волноводе, устанавливается одномодовый режим с высоким значением продольной компоненты электрического поля на частоте следования сгустков при подборе соответствующего значения "резонансного" радиуса [15].

Таким образом, разрешается проблема удаления статического заряда на поверхности диэлектрика.

Четвертая, заключительная глава диссертации посвящена исследованию эффекта Черенкова в бицилиндрической структуре с целью его использования в схеме двухпучкового ускорения с разнесенными траекториями ведущего и ускоряемого пучков. В первом параграфе этой главы получены выражения для черенковских полей в регулярном волноводе, обладающим произвольным поперечным сечением и заполненным диэлектриком. Здесь конкретизируются полученные для произвольного поперечного сечения (Гл. I) выражения для случая бицилиндрического волновода. Аналитического решения задачи о бицилиндрическом волноводе не существует, и проблема сводится к разработке алгоритмов и программ определения собственных частот и собственных функций такой структуры. Эта проблема решалась М.И. Иваняном, который предложил метод систематизации типов и мод колебаний в бицилиндрической структуре, основанный на анализе "предельных форм" [15-16]. Здесь же были разработаны алгоритмы и программы определения частот и собственных функций с высокой степенью точности. Так как в этом случае переменные в поперечном сечении не разделяются, классификация собственных значений (и соответствующих собственных функций) производится по росту их величин. Теория бицилиндрических структур [15] развивалась в общем случае для произвольных соотношений радиусов цилиндров [15-16]. Мы ограничимся рассмотрением случая двух равных радиусов и второй моды, определяющей строго антисимметричное распределение полей в двух цилиндрах. Краткое изложение этих вопросов приведено во втором параграфе главы [26]. Далее (§ 4.3), используя программу для определения собственных мод бицилиндрической структуры, находятся поля, генерируемые периодической последовательностью цилиндрических сгустков с гауссовским распределением заряда в каждом из них. В волноводе

устанавливается одномодовый режим (на указанной второй моде) на частоте следования сгустков. Для значений параметров пучка, указанных выше, напряженность волны может достигать 150 МВ/м [25,26].

Проблема уменьшения поляризационных потерь решается с помощью каналов, прорезанных вдоль обеих осей бицилиндрической структуры. С одной стороны, наличие каналов делает применимость метода собственных функций поперечного сечения (или метода функций Грина) проблематичной, а новое решение задачи с неоднородным поперечным сечением, где переменные не разделяются, является сложной математической проблемой. С другой стороны, результаты исследований, проведенных в главах I-III для круглого цилиндрического волновода методом разложения полей и токов в интеграл Фурье с последующим удовлетворением граничным условиям на стенках волновода и на границах диэлектрика, позволили выявить закономерности формирования поля в волноводе в этих случаях и определить влияние каналов на величины напряженности полей и на значение собственной частоты выбранной моды. На основе этих исследований в четвертом параграфе главы предлагается и обосновывается экстраполяционная формула определения "резонансных" радиусов бицилиндрического волновода в зависимости от радиуса каналов. Расчет по этой формуле обеспечивает одномодовый режим на частоте следования сгустков, которая совпадает с частотой второй моды в случае сплошного заполнения [18,25].

Последний параграф четвертой главы посвящен анализу численных результатов, позволяющему судить об эффективности двухпучковой схемы ускорения, основанной на механизме черенковского излучения в бицилиндрической структуре [26].

В заключении диссертации обосновывается эффективность и перспективность создания ускоряющего модуля в виде отрезка

бицилиндрического волновода с двумя каналами, прорезанными вдоль обеих осей для уменьшения поляризационных потерь, и тонким проводящим покрытием внутренней поверхности каналов для устранения пространственного заряда [19,25].

Основные результаты диссертации

1. В диссертации развита теория черенковского излучения единичного сгустка и периодической последовательности таких идентичных сгустков, движущихся вдоль оси круглого цилиндрического или вдоль одной из осей бицилиндрического волновода, заполненного дисперсной диэлектрической средой.
2. Показано, что в случае периодической последовательности сгустков в волноводе устанавливается одномодовый режим на частоте следования сгустков, если подобрать поперечные размеры волновода так, чтобы собственная частота выбранной моды равнялась бы этой частоте повторения. При этом наблюдается резкое увеличение напряженности продольной компоненты электрического поля (ускоряющего градиента).
3. Проведен анализ частотного спектра с использованием хорошо обусловленной модели диэлектрической проницаемости среды, описываемой экстраполяционной формулой Дебая. Показано, что роль дисперсии в реальных прозрачных средах в случае единичного излучающего сгустка сводится к ограничению частотного спектра сверху. Оценены ожидаемые напряженности полей.
4. Развита теория черенковского излучения в круглом цилиндрическом волноводе с каналом, прорезанным в среде, заполняющей волновод, вдоль его оси. Предложен алгоритм определения "резонансных" радиусов волнопроводов (в зависимости от радиуса канала), когда в них устанавливается одномодовый режим.

5. Разработан алгоритм определения поля черенковского излучения в круглом цилиндрическом волноводе с коаксиально-слоистым диэлектрическим заполнением. Исследован механизм черенковского излучения в волноводе с кольцеобразным диэлектрическим заполнением и доказано, что тонкий кольцевой слой не участвует в формировании черенковского излучения.
6. Предложен алгоритм определения влияния тонкого проводящего слоя на формирование полей черенковского излучения. Показано, что роль тонкого слоя заключается только в затухании (уменьшении амплитуды) поля излучения, и, что подбором квазипроводящей среды и ее толщины можно свести это затухание к допустимым значениям и обеспечить удаление электростатических зарядов с поверхности канала.
7. Развита теория черенковского излучения в волноводе с произвольным поперечным сечением и подробно исследован случай биглиндрического волновода. Разработаны алгоритмы учета влияния каналов, прорезанных вдоль обеих осей, на формирование черенковского излучения и определения "резонансных" размеров поперечного сечения биглиндрического волновода, обеспечивающих установление одномодового режима в волноводе.

Список литературы

1. Б.М.Болотовский. Теория эффекта Вавилова—Черенкова (III). УФН, 75, вып.2, 295 (1961).
2. Э.Д.Газазян, Э.М.Лазиев. О черенковском излучении в волноводе. Изв. АН Арм. ССР, физ.—мат. науки, 16, N2, 79 (1963).
3. E.A.Begloyan, E.D.Gazazian, V.G.Kocharian, E.M.Laziev. The Interaction of the Charged Particles Bunches and Waveguide—Cavity Structures. Linac 17, Tsukuba (Japan), 1, 230 (1994).

4. Э.Д.Газазян, Э.М.Лазиев, А.Д.Тер—Погосян. Поле заряженной частицы и излучение Вавилова—Черенкова в волноводе с бесконечной движущейся средой. Препринт ЕрФИ, ЕФИ—412(19)—80, Ереван, 1980, 16 с.
5. Л.Д.Ландау, Е.М.Лифшиц. Электродинамика сплошных сред. М., Наука, 1982.
6. Ya. Feinberg, Proc. Symp. On Collective Acceleration, CERN, 1, 84 (1956).
7. Я. Файнберг, Атомная Энергия 6, 431, 1959.
8. В.М. Болотовский, Труды ФИАН, 22, 3 Москва 1964.
9. R.Keinigs, M. Jones, and W. Gai, Part. Accel. 24,223 (1989).
10. M. Rosing and W. Gai, Phys. Rev. D1, 42, 1829 (1990).
11. W. Gai et al., Phys. Rev. Lett. 61, 2756 (1988).
12. J. Chiu and S. Mtingwa, ANL Preprint No. ANL-HEP-RP-90-69 (1990).
13. S. Mtingwa, Theory of the Dielectric Wakefield Accelerator, Invited talk, Second Edward Bouchet International Conference of Physics and Technology, University of Ghana, Legon, Ghana, August 14-17, 1990.
14. В.Л. Гинзбург, И.М.Франк ДАН СССР том 56, стр. 699, 1947.
15. М.И. Иванян. Собственные моды биглиндрического волновода. Радиотехника и Электроника., 44, N4, с.401-409. (1999).
16. M.I.Ivanyan. Bicylindrical structure. Nuclear Instr. and Meth. (sent to print)
17. F.L.Ng, R.H.T. Bates. IEEE Trans. Vol. MTT-20, pp. 658-662, Oct. 1972
18. А.С. Варданын. К двухпучковой схеме ускорения в биглиндрическом волноводе. (послана в печать).
19. А.С. Варданын, Г.Г. Оксюзян. Особенности формирования полей черенковского излучения в волноводе с коаксиально-неоднородным заполнением. (послана в печать).
20. Дж.К.Саусворт. Принципы и применения волноводной передачи. М., Сов. Радио, 1955.
21. М.Абрамовиц. Справочник по специальным функциям. М. Наука, 1979.

Список опубликованных работ по теме диссертации

22. А.С. Варданын, Э.Д.Газазян, А.Д.Тер-Погосян. Особенности черенковского излучения в волноводе с дисперсной диэлектрической средой. Изв. НАН РА, Физика, 34, 35, 1999.
23. А.С. Варданын, Э.Д.Газазян, А.Д.Тер-Погосян. О черенковском излучении в волноводе с каналом, прорезанным внутри заполняющей волновод среды. Изв. НАН РА, Физика, 34, 195, 1999.
24. А.С. Варданын. Черенковское излучение в волноводе с многослойным коаксиальным диэлектрическим заполнением. Изв. НАН РА, Физика, 34, 323, 1999.
25. E.D.Gazazyan, M.L.Ivanyan, A.D.Ter-Pogossyan, A.S.Vardanyan Cherenkov Radiation Mechanism in Two-Beam Acceleration Problems. EPAC-2000, Vienna, June 26-July 2, 2000
26. А.С. Варданын, М.И. Иванян, А.Д.Тер – Погосян. Черенковский механизм в двухпучковой схеме ускорения в биглициндрической структуре (послана в печать).

Resume

Dissertation is devoted to substantiation of TBA with separated trajectories in the bicylindrical waveguide owing two axes for radiating and accelerated beams and is based on Cherenkov radiation phenomenon. Two theses are defended:

- Cherenkov radiation mechanism may be used efficiency in TBA in the waveguide;
- Bicylindrical waveguide with two axes for radiating and accelerated beams may be served as an accelerating module with high acceleration gradient.

Theoretical and numerical investigations are carried out on the well stipulated model of the bicylindrical waveguide with the canals cut along both of the axis in the medium the waveguide filled with for the leading and accelerating beams. The results of these investigations show the high efficiency of the Cherenkov radiation mechanism in the energy exchange problems.

The features of the field forming mechanism are elucidated taking into account the disperse properties of the dielectric which is described by Debye's extrapolation formula. It is shown that this formula describes well the dispersion of the teflon in the S-band and makes the consideration to be very close to the real system.

It is shown that a single mode regime is set in the waveguide for the case of the periodical sequence of the bunches. Very high intensity of the quasimonochromatic field will be observed for this case on the frequency of the repetition rate of the sequence of the bunches. This field coincides with the second symmetrical mode if one chooses the corresponding values of the cross sizes of the waveguide.

An algorithm is offered to defined the cross sizes of the waveguide in dependence on the canals radii. This algorithm is based on the strict analytical formulae having been received before for the circle cylindrical waveguide with the canal cut along the axis in the medium the waveguide filled with.

The received results permit one to begin the module modeling and the experiments on the test facility. To release such a test facility one will choose an electrofirm ceramics as a filling medium and cover the canals' surfaces by the thin conducting layer to remove the static charge having been accumulated on these surfaces at the interaction with the beams. The expected values of the field intensity may be decreased if one takes these measures. Nevertheless, high values being illustrated above permit one to hope that it is possible to obtain a high rate of the acceleration in the real structures.

Ամփոփում

Առեմախոսությունը նվիրված է լիցքավորված մասնիկների թանձրուկների երկինջային արագացման դիտարկմանը երկզանային ալիքատարում տարանջատված հետազոտելով արագացնող և արագացվող փնջերի համար, հիմնված չերենկովյան ճառագայթման վրա: Առաջարկվում և հիմնավորվում են հետևյալ երկու թեզերը՝

- Չերենկովյան ճառագայթումը կարելի է էֆեկտիվորեն օգտագործել ալիքատարներում երկինջային արագացման համար:
- Երկզանային համակարգը կարող է հանդիսանալ տարանջատված հետազոտելով երկինջային արագացման մոդուլ, ապահովելով բավարար մեծությամբ արագացնող դաշտեր:

Կատարված են տեսական և հաշվարկային հետազոտություններ երկզանային ալիքատարի համար, որում լցված դիէլեկտրիկում կանալներ են բացված արագացնող և արագացվող փնջերի անցման համար: Այս հետազոտությունների արդյունքները հիմնավորում են չերենկովյան ճառագայթման մեխանիզմի էֆեկտիվությունը փնջերի միջև էներգափոխանակման պրոբլեմներում:

Հաշվի է առված միջավայրի դիէլեկտրիկ թափանցելիության դիսպերսիայի ազդեցությունը ճառագայթման ձևափոխման վրա, որը նկարագրվում է Դեբայի էքստրապոլացված բանաձևով: Ցույց է տրվում, որ այն բավականին լավ նկարագրում է տեֆլոնի դիսպերսիոն հատկությունները (դեցիմետրային տիրույթում):

Ցույց է տրված, որ թանձրուկների պարբերական հաջորդականության դեպքում ալիքատարում կարելի է իրացնել միամող ռեժիմ: Այս դեպքում ալիքատարում տարածվում է մեծ լարվածությամբ քվազիմոնոքրոմատիկ ալիք, թանձրուկների հաջորդականության հաճախությամբ, որը ալիքատարի լայնական չափսերի համապատասխան ընտրության դեպքում համընկնում է երկրորդ սիմետրիկ մողի հետ:

Մշակված է ալգորիթմ, որը թույլ է տալիս որոշել երկգլանային ալիքատարի չափսերը, կախված կանալի շառավղի մեծությունից: Այն հիմնված է դիէլեկտրիկում բացված կանալով կլոր ալիքատարի համար ստացված ճշգրիտ անալիտիկ լուծման վրա:

Ստացված արդյունքները բավարար են փորձնական սարքի նախագծման և կառուցման համար: Դա իրականացնելու համար պետք է նախ ընտրել էլեկտրակայուն դիէլեկտրիկ և պատել դրանում բացված կանալները բարակ քվազիհաղորդիչ շերտով՝ փնջի անցման ժամանակ կուտակված էլեկտրաստատիկ լիցքերը հեռացնելու համար: Այս միջոցները որոշ չափով կնվազեցնեն լարվածության արժեքները: Այնուամենայնիվ ակնկալվող մեծ լարվածությունները թույլ են տալիս ենթադրել արագացման մեծ գրադիենտ ստանալու հնարավորությունն իրական համակարգերում: