

Ա.Բ. Ալիխանյանի անվան ԱԶԳԱՅԻՆ ԳԻՏԱԿԱՆ ԼԱԲՈՐԱՏՈՐԻԱ  
(Երևանի Ֆիզիկայի Ինստիտուտ)

Գրիգորյան Արմեն Հրանտի

ՂԱՆՂԱՂ ՏԱՐԱԾՎՈՂ ԱԼԻՔՈՎ ՄԻԱՍՈՐԴԱՅԻՆ ՌԵԶՈՆԱՆՍԱՅԻՆ  
ԱՐԱԳԱՑՆՈՂ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՌԻՍՈՒՄՆԱՄԵՐՈՒԹՅՈՒՆԸ

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

ՄԵՂՄԱԳԻՐ

ԵՂԵՎԱՆ-2014

---

НАЦИОНАЛЬНАЯ НАУЧНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ имени А. И. Алиханяна  
(Ереванский Физический Институт)

Григорян Армен Грантович

ИССЛЕДОВАНИЕ ОДНОМОДОВОЙ РЕЗОНАНСНОЙ УСКОРЯЮЩЕЙ  
СТРУКТУРЫ С МЕДЛЕННО БЕГУЩЕЙ ВОЛНОЙ.

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-  
математических наук по специальности 01.04.20 – «Физика пучков  
заряженных частиц и ускорительная техника».

ЕРЕВАН-2014

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

Одними из важнейших направлений современных исследований в области физики пучков заряженных частиц и ускорительной техники являются развитие новых методов ускорения заряженных частиц и генерация высокочастотного монохроматического излучения. Для ускорения заряженных частиц или генерации излучения в волноводных структурах необходимо обеспечить условие распространения в структуре медленных волн, или волн с фазовой скоростью меньше скорости света, поскольку в пустых гладких волноводах с идеальными стенками электромагнитные волны распространяются с фазовой скоростью больше скорости света. Известные до настоящего времени волноводные структуры с медленными волнами для ускорения заряженных частиц или генерации излучения представляют собой диафрагмированные волноводы или волноводы с диэлектрическим заполнением. Дисперсионные характеристики таких волноводов хорошо исследованы и характеризуются бесконечным числом собственных медленных волн, которые возбуждаются при пролете релятивистской частицы вдоль оси волновода. Эти высшие моды накладывают существенные ограничения на эффективность ускорения заряженных частиц основной ускоряющей модой, как с точки зрения возмущения самого процесса ускорения, так и возбуждения этих мод самим сгустком.

Из вышеизложенного ясно, что исследование волноводных структур с единственной медленной основной ТМ<sub>01</sub> волной является актуальной проблемой, как для развития ускорительной физики, так и источников когерентного монохроматического излучения.

Цель работы

Целью диссертационной работы является:

- Исследование резонансных свойств двухслойных волноводов и дисперсионных характеристик собственных волн в узкополосном диапазоне.
- Исследование одномодовой резонансной ускоряющей структуры с медленно бегущей волной.
- Исследование импеданса и кильватерной функции для частиц с конечной энергией.

Ատենախոսության թեման հաստատված է Երևանի պետական համալսարանում

Գիտական ղեկավար՝ ֆիզ.մաթ. գիտ. դոկտոր  
Վ. Ս. Ցականով (ԵՊՀ, ՔԵՆԸԼ ՍՀԻ)


Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝ ֆիզ.մաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր  
Է. Ս. Լազին (ԱԱԳԼ)  
ֆիզ.մաթ. գիտ. թեկնածու,  
Ա. Ս. Վարդանյան (ՔԵՆԸԼ ՍՀԻ)

Առաջատար կազմակերպություն՝ ՀՀ ԳԱԱ Ֆիզիկական  
հետազոտությունների ինստիտուտ

Պաշտպանությունը կայանալու է 2014թ. մայիսի 27-ին ժամը 14.00-ին Ա.Բ. Ալիխանյանի անվան ազգային գիտական լաբորատորիայում գործող ԲՈՀ-ի «Միջուկի և տարրական մասնիկների ֆիզիկա» 024 մասնագիտական խորհրդի նիստում (0036, Երևան, Ալիխանյան եղբայրների 2):

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ Ա.Բ. Ալիխանյանի անվան ազգային գիտական լաբորատորիայի գրադարանում:

Մեղմագիրն առարված է 2014թ. ապրիլի 26-ին:

024 մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար, ֆիզ.մաթ. գիտ. դոկտոր  Դ. Ռ. Վարդանյան

Тема диссертации утверждена в Ереванском государственном университете.

Научный руководитель: доктор физ.-мат. наук  
В. М. Цаканов (ЕГУ, КЕНДЛ ИСИ)


Официальные оппоненты: доктор физ.-мат. наук, профессор  
Э. М. Лазиев (ННЛА)  
кандидат физ.-мат. наук  
А. С. Варданян (КЕНДЛ, ИСИ)

Ведущая организация: Институт физических исследований НАН РА

Защита диссертации состоится 27 мая 2014г. в 14.00 часов на заседании специализированного совета ВАК 024 "Физика ядра и элементарных частиц" действующей при Национальной научной лаборатории им. А.И.Алиханяна (0036, Ереван, ул. братьев Алиханян 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ННЛА.

Автореферат разослан 26 апреля 2014г.

Ученый секретарь спец. совета 024, д.ф.м.н.  Д.Р. Караханян

- Исследование характеристик излучения с открытого конца одномодового резонансной структуры для ультрарелятивистских чатиц и частиц с конечной энергией.

#### Научная новизна

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Впервые предложена и исследована резонансная двухслойная ускоряющая структура, в которой существует только одна медленно бегущая  $TM_{01}$  волна.
2. Получены основные дисперсионные характеристики медленно бегущей основной  $TM_{01}$  электромагнтной волны в такой структуре и определена синхронная частота возбуждения.
3. Получены аналитические формулы для расчета импедансов и кильватерных полей, возбуждаемых заряженными частицами в таких структурах.
4. Получены пространственно-угловые характеристики излучения с открытого конца новой одномодовой ускоряющей структуры.

#### Практическая ценность.

- Результаты, полученные в данной работе, могут быть использованы для разработки новых ускоряющих структур на высоких частотах.
- Исследованная структура является эффективным кандидатом для разработки источников когерентного монохроматического излучения в суб-миллиметровой облсати длин волн.
- Полученные результаты могут лечь в основу новых неразрушающих методов диагностики параметров прецизионных пучков.
- Открывает широкий фронт экспериментальных исследований на линейном ускорителе АРЕАЛ с лазерной высокочастотной пушкой.

#### Основные положения, выносимые на защиту:

1. Впервые исследованы дисперсионные характеристики и предложена одномодовая резонансная двухслойная структура с единственной медленной основной ускоряющей электромагнитной  $TM_{01}$  волной.
2. Получены аналитические представления импеданса и продольного кильватерного поля для одномодовой резонансной структуры.
3. Исследованы особенности импеданса и кильватерных полей в одномодовой резонансной структуре для частиц с конечной энергией.
4. Исследованы основные характеристики излучение с открытого конца одномодовой резонансной структуры.

#### Апробация работы:

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

1. Particle Accelerator Conference, PAC09, Vancouver, Canada, 4-8 May, 2009. Материалы диссертации также обсуждались на семинарах в ЕГУ и CANDLE.

#### Публикации.

По материалам диссертации опубликовано 3 научных работ, список которых приведен в конце автореферата.

#### Структура и объем работы.

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы. Общий объем диссертации составляет 108 страниц, в том числе 50 рисунков, 1 таблиц и списка литературы из 97 наименований.

#### СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

*Во введении* сделан обзор по тематике диссертации, сформулированы основные задачи, обоснована их актуальность и научная новизна, а также приведено краткое содержание работы.

*В первой главе* приведено краткое описание теории расчета электромагнитных полей в многослойных волноводах, основанных на сшивке тангенциальных составляющих электрических и магнитных полей на границах раздела. Так же приведены определения кильватерных потенциалов и ипедансов, и показанна важность расчетов этих величин для современных ускорителей.

Во второй части первой главы с помощью численного моделирования было исследовано импедансные характеристики и кильватерные поля для двух типов двухслойных волноводов Al-NEG и Ni-Cu. Для расчетов взяты параметры вакуумных камер для ондуляторов проекта Швейцарского рентгеновского лазера на свободных электронах SwissFEL. На Рис. 1 приведены действительные части продольных импедансов для вакуумных камер Al-Neg и Ni-Cu.

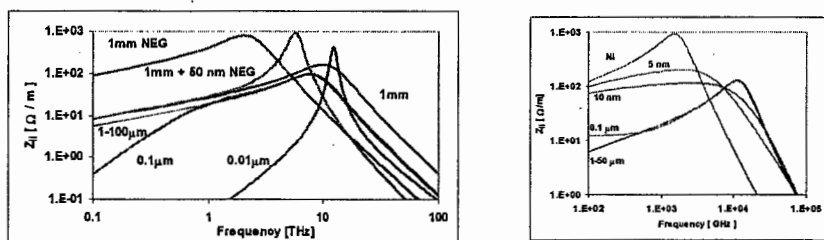


Рис. 1. Действительная часть продольного импеданса для вакуумных камер Al-Neg (слева) и Ni-Cu (справа).

В волноводе со стенками Al-NEG проводимость внутреннего слоя (NEG) меньше проводимости внешнего слоя (Al), а в другом случае Ni-Cu, наоборот, проводимость внутреннего слоя (Cu) больше проводимости внешнего (Ni) слоя. Исследования показали, что в первом случае для достаточно тонкого внутреннего слоя импеданс имеет резонансный характер, а во втором случае даже при очень тонкой внутренней слое импеданс не имеет резонансного характера.

В заключительной части первой главы численно исследованы условия, при которых в двухслойном волноводе продольный импеданс имеет резонансные свойства. С помощью численного моделирования исследованы импедансы для различных параметров двухслойных волноводов (рис.2).

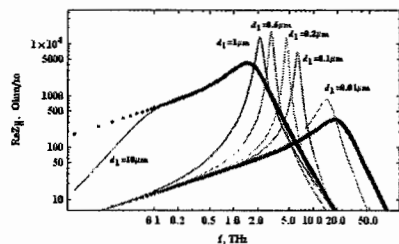


Рис. 2 Действительная часть продольного импеданса для различных толщин внутреннего слоя NEG для двухслойного волновода Cu-NEG.

Полученные результаты показывают, что для достаточно тонкого внутреннего слоя, резонансные свойства импеданса проявляются, когда проводимость внутреннего слоя меньше проводимости внешнего слоя.

Во второй главе диссертационной работы исследован резонанс в двухслойном волноводе. Для построения аналитического выражения импеданса была рассмотрена модель волновода с идеально проводящим внешним слоем бесконечной толщины. На рис.3 приведено схематическое изображение рассматриваемой структуры.

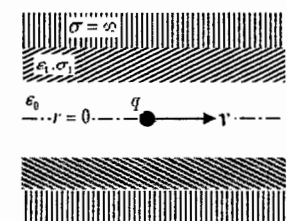


Рис. 3 Геометрия двухслойного волновода

В этом приближении и для частотной области  $a^{-1} \ll |\chi| \ll d^{-1}$ , где  $\chi = \sqrt{-j\sigma_0\mu_0\omega}$  поперечная постоянная распространения во внутреннем слое толщиной  $d$ , импеданс структуры в ультрарелятивистском приближении представляется в следующем виде:

$$Z_{||}^0(\omega) = \frac{Z_0 c A \omega^2 + j\omega(\omega^2 - \omega_0^2)}{\pi^2 (\omega^2 - \omega_0^2)^2 + A^2 \omega^2}$$

где  $Z_0$  -импеданс вакуума,  $a$  - внутренний радиус волновода,  $\omega$  - частота,  $\omega_0 = c\sqrt{2/ad}$ . В диссертационной работе показано, что действительная часть продольного импеданса имеет максимум при  $\omega = \omega_0$ . То есть  $\omega_0$  и есть резонансная частота. Характерно, что резонансная частота не зависит от проводимости внутреннего слоя.

Во второй части этой главы для прояснения резонансных особенностей рассмотренной структуры исследованы собственные моды двухслойного волновода в узкополосной области вблизи резонансной частоты. Показано, что уравнение собственных мод для частотной области  $a^{-1} \ll |\chi| \ll d^{-1}$  можно представить в виде:

$$\frac{1}{\epsilon_{0n}} \frac{J_1(\epsilon_{0n})}{J_0(\epsilon_{0n})} = \frac{1}{k^2 ad}$$

С помощью анализа численных решений этого уравнения проведена классификация собственных мод волновода и построены дисперсионные кривые

для основных мод. На рис.4 показана зависимость поперечного волнового числа от волнового числа для первых 4-х основных TM волн (слева) и дисперсионная кривая для основной  $TM_{01}$  моды (справа).

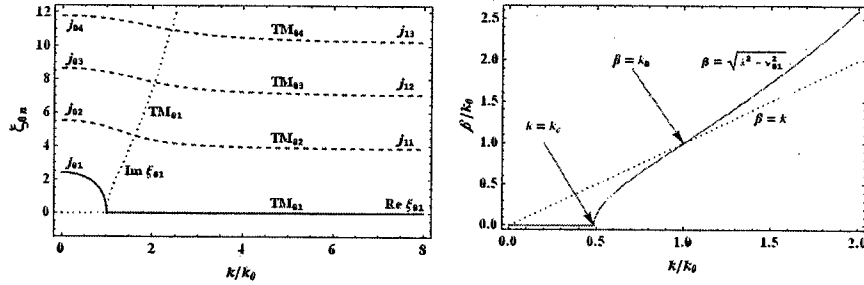


Рис. 4 Зависимость поперечного волнового числа от волнового числа для первых 4-х основных TM волн (слева) и дисперсионная кривая для основной  $TM_{01}$  моды (справа).

Исследования собственных мод показали, что в частотной области  $k > k_0$  где  $k_0 = \frac{\omega_0}{c}$ , поперечные собственные значения  $TM_{01}$  моды чисто мнимые и, следовательно, фазовая скорость распространения волны меньше скорости света  $v_{ph} < c$ . В частотной области  $0 < k < k_0$  поперечные собственные значения  $TM_{01}$  моды принимают действительные значения и фазовая скорость волны больше скорости света  $v_{ph} > c$ . На синхронной частоте  $k = k_0$  поперечное волновое число  $TM_{01}$  волны зануляется и фазовая скорость волны равна скорости света  $v_{ph} = c$ . При этом, поперечные собственные значения остальных мод везде действительные и их фазовая скорость больше скорости света. Таким образом, в этой главе показано, что рассматриваемая двухслойная структура при определенных условиях замедляет только основную  $TM_{01}$  собственную электромагнитную волну, т.е. представляет собой одностороннюю ускоряющую волноводную структуру.

В конце этой главы исследованы кильватерные поля, возбуждаемые релятивистским зарядом, пролетающим вдоль оси двухслойного одностороннего волновода. Получено аналитическое выражение для кильватерного потенциала, имеющего вид

$$W_1(s) = -\frac{Z_0 c}{\pi a^2} e^{-\alpha s} \left( \cos(k_a s) - \frac{\alpha}{k_a} \sin(k_a s) \right)$$

где  $k_a = \sqrt{k_0^2 - \alpha^2}$ ,  $\alpha = A/2c$  - коэффициент затухания.

Полученные результаты показывают, что в исследованной структуре с фазовой скоростью меньше скорости света может распространяться только основная  $TM_{01}$  мода, и на резонансной частоте она синхронна с частицей которая движется вдоль оси со скоростью света.

Во третьей главе диссертационной работы исследованы импедансы и кильватерные поля в односторонней резонансной ускоряющей структуре для частиц с конечной энергией. Для получения аналитического выражения для кильватерных полей найдено аналитическое выражение для импеданса.

$$Z_{||}^0 = 5.17794 \cdot 10^{18} \frac{\epsilon_0 d v^{20} Z_0}{\pi a \tilde{G}(\omega)} \omega (\sigma_1 v^2 + j c^2 \epsilon_0 \tau^2 \omega),$$

где  $a$  - радиус волновода,  $d$  - толщина внутреннего слоя,  $\sigma_1$  - проводимость внешнего слоя,  $\tau = 1/\gamma$ ,  $\tilde{G}(\omega) = \sum_{k=0}^{N+3} c_k \omega^k = \prod_{i=1}^{23} (\omega - \omega_i)$  многочлен 23-ой степени.

На рис. 5 приведены реальные части продольного импеданса для энергии 5Мэв и 20Мэв. Проведено сравнение полученного выражения с численным моделированием.

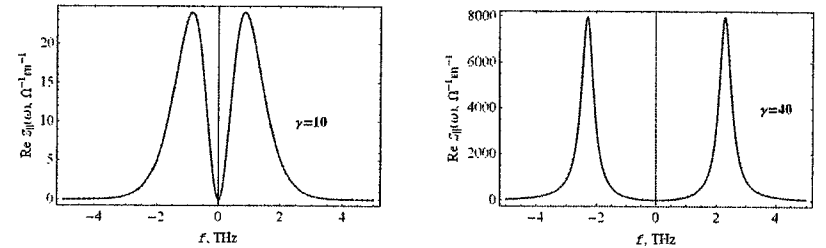


Рис. 5 Реальная часть продольного импеданса для энергии частиц 5Мэв и 20Мэв.

Исследование импедансов показывает, что при выбранных параметрах и при энергии 5Мэв импеданс имеет широкополосный характер, но уже при энергии 20Мэв импеданс узкополосный. Аналитические решения при этом хорошо согласуются с численным моделированием.

Во второй части этой главы исследованы кильватерные поля. С помощью аппроксимационного выражения импеданса получено аналитическое выражение для продольного кильватерного потенциала.

$$W_{||}^0(s) = C \operatorname{sign}(s) \sum_{k=1}^{23} \frac{1 - \operatorname{sign}(s \operatorname{Im} \omega_k)}{2} \frac{(j \omega_k - \epsilon_0 \tau^2 \omega_k^2 / \sigma_1 \beta^2)}{\left( \frac{a \tau}{v} \right)^{22} \prod_{i=1, i \neq k}^{23} (\omega_k - \omega_i)} e^{-j \frac{\omega_k s}{v}}$$

где  $C = 2.2421 \cdot 10^{14} \frac{a \sigma_1 Z_0^2}{2\pi d}$ ,  $\omega_i$  - корни многочлена  $\tilde{G}(\omega)$ . На Рис. 6 приведено распределение кильватерных полей для энергии 10Мэв и 20Мэв и сравнение полученного аналитического выражения с численными результатами.

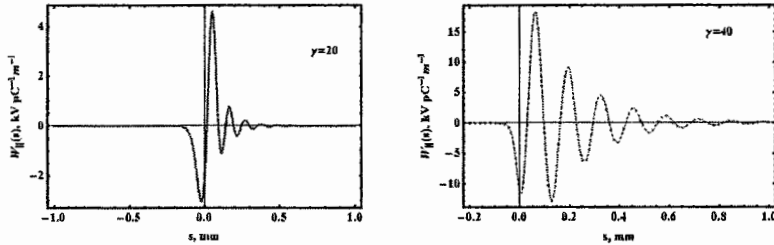


Рис 6. Распределение кильватерных потенциалов для энергии частиц 10Мэв и 20Мэв.

Из полученных результатов видно, что кильватерная функция представляет собой затухающее периодическое решение за возбуждающим зарядом. Для энергии частиц в 10Мэв наблюдается быстро затухающие осцилляции, но при энергии 20Мэв наблюдается сравнительно медленно затухающие осцилляции.

Изучение импедансов и кильватерных полей для конечной энергии частиц показали, что при энергии электронов в 20Мэв структура также обладает резонансными характеристиками, близкими для случая ультррелятивистского приближения. Полученные результаты имеют практическую ценность для экспериментальной проверки резонансных свойств рассмотренной одномодовой структуры.

В четвертой главе диссертационной работы исследованы характеристики излучения из открытого конца одномодовой резонансной ускоряющей структуры, обусловленного кильватерными полями. В первой части этой главы приведено краткое описание методов расчета дальнезонных полей с помощью распределения полей на открытом конце волновода.

Во второй части рассчитаны и исследованы дальнезонные поля для ультррелятивистской частицы. Расчеты показали, что излучение формируется с помощью двух последующих импульсов. Первый импульс формируется в конечном интервале времени  $-a \sin \theta + R < ct < a \sin \theta + R$ , где  $a$  - радиус волновода,  $\theta$  и  $R$  угол и дальность точки наблюдения соответственно. А второй импульс достигает точки наблюдения в момент времени  $t = a \sin \theta + R$  и длится до  $t = \infty$ . На рис. 7 приведено пространственно-временное распределение излучения для фиксированного угла и дистанции наблюдаемой точки. Расчеты показывают, что частота импульсов равна резонансной частоте.

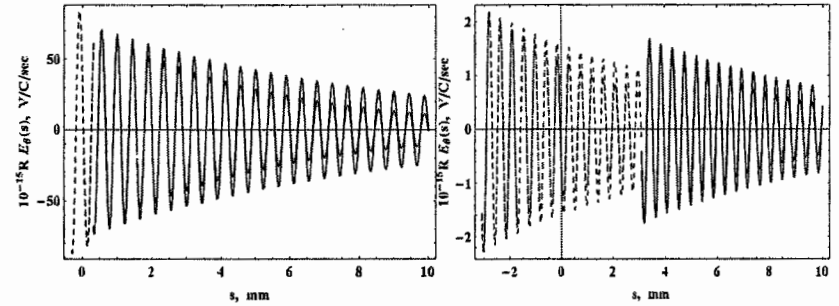


Рис 7. Пространственно-временное распределение излучения.

Так же исследовано угловое распределение излучения и показано, что излучение узконаправленное. На Рис. 8 приведено угловое распределение излучения.

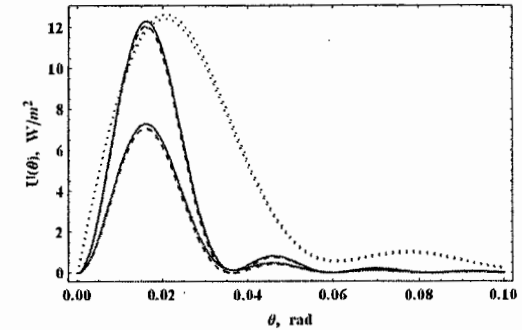


Рис.8 Угловое распределение излучения.

В третьей части этой главы исследовано поле излучения возбуждающей частицы с конечной энергией. Показано, что в этом случае излучение формируется от трех импульсов. Первый импульс обусловлен кильватерными полями, опережающими частицу, а остальные два импульса аналогичны случаю ультррелятивистской частицы. На Рис. 9 приведено пространственно-временное распределение излучения для энергий частиц в 5Мэв и 20Мэв.

Из Рис. 9 видно, что при энергии электронов в 5Мэв излучение имеет широкополосный характер, но при энергии электронов в 20Мэв излучение имеет монохроматический характер.

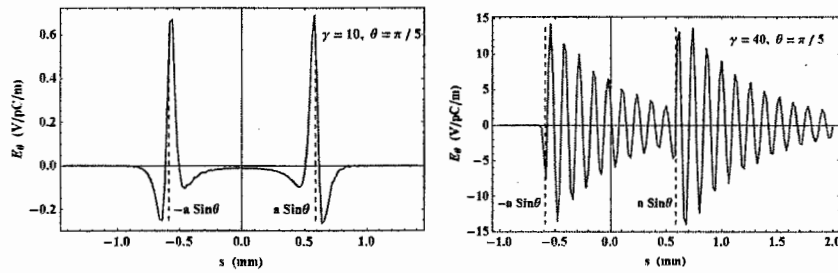


Рис. 9 Пространственно-временное распределение излучения для энергии частиц в 5Мэв и 20Мэв.

Так же исследовано угловое распределение излучения. На Рис.10 приведено угловое распределение для энергии частиц в 5Мэв и 20Мэв.

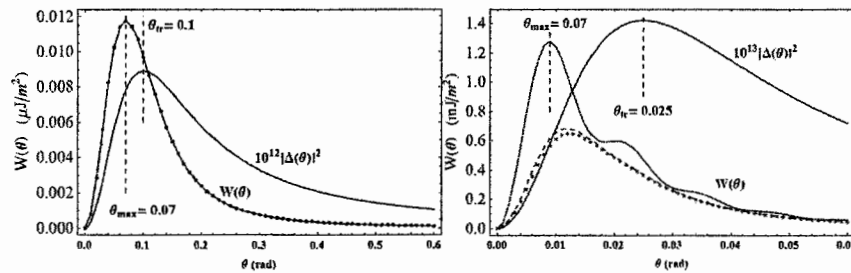


Рис. 10 Угловое распределение излучения для энергии частиц в 5Мэв и 20Мэв

Из анализа углового распределения излучения выяснилось, что при энергии в 5Мэв угол, при котором достигается максимум излучения близок к углу  $\theta_r = 1/\gamma$ . При энергии в 20Мэв максимум излучения достигается под углом примерно в три раза меньше угла  $\theta_r = 1/\gamma$ .

Исследования этой главы показали, что из открытого конца одномодовой резонансной ускоряющей структуры можно получить высокочастотное монохроматическое излучение уже при энергии электронов в 20Мэв. Хотя при энергии частиц в 5Мэв излучение не монохроматическое, но изучение характеристик излучения позволит определить энергию электронов и свойства структуры.

**В заключениях** сформулированы основные результаты и выводы.

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ

- Исследованы импедансы и кильватерные поля для двух типов двухслойных волноводов Al-Neg и Ni-Cu. Выявлены основные параметры двухслойного волновода, при котором продольный импеданс имеет резонансный характер.
- Исследована одномодовая резонансная ускоряющая структура на основе двухслойных волноводов. Изучены основные характеристики медленно бегущей основной  $TM_{01}$  моды. Получены дисперсионные характеристики и частота синхронизации основной моды. Получены аналитические выражения для импеданса и кильватерной функции.
- Исследованы импеданс и кильватерные поля, возбуждаемые в одномодовой резонансной ускоряющей структуре частицами с конечной энергией. Выявлены основные параметры, при которых импеданс имеет резонансный характер. Выведены аналитические выражения для импедансов и кильватерных полей для конечной энергии частиц.
- Исследованы основные характеристики излучения с открытого конца одномодовой резонансной ускоряющей структуры. Получены пространственно-временные характеристики и угловое распределение излучения для конечной энергии частиц и ультрарелятивистского приближения.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. M. Ivanyan, V. Tsakanov M. Dehler, A. Grigoryan, Longitudinal and Transverse Resistive Wake Fields in PSI-XFEL Undulator, PAC'09, pp. 4613-4615, Vancouver, Canada (2009).
2. A. Grigoryan "Резонансные свойства излучения низкоэнергетических электронных пучков в двухслойном волноводе" Изв. НАН Армении, Физика, 48, 383-393 (2013)
3. M. Ivanyan, A. Grigoryan, A. Tsakanian, and V. Tsakanov, Narrow-band impedance of a round metallic pipe with a low conductive thin layer, Phys. Rev. ST- Accel and Beams, 17, 021302 (2014).

ԱՄՓՈՓԱԳԻՐ

Լիցքավորված մասնիկների փնջերի ֆիզիկայի և արագացուցչային տեխնիկայի բնագավառի ժամանակակից հետազոտությունների կարևորագույն ուղղություններից է լիցքավորված մասնիկներ արագացման համար նոր մեթոդների մշակումը և բարձր հաճախականային մոնոքրոմատիկ ճառագայթման գեներացումը: Ալիքատար համակարգերում լիցքավորված մասնիկների արագացման կամ ճառագայթման գեներացման համար անհրաժեշտ է այդպիսի համակարգերում ստանալ դանդաղ տարածվող կամ լույսի արագությունից փոքր ֆազային արագություն ունեցող ալիքներ, քանի որ դատարկ և հարթ իդեալական պատերով ալիքատարերում տարածվող էլեկտրոմագնիսական ալիքների ֆազային արագությունը մեծ է լույսի արագությունից: Մինչ այժմ լիցքավորված մասնիկների արագացման կամ ճառագայթման գեներացման համար հայտնի ալիքատար համակարգեր դանդաղ տարածվող ալիքով հանդիսանում են դիաֆրագմային կամ դիլեկտրիկով լցված ալիքատարերը: Այդ ալիքատարերի դիսպերսիոն բնութագրերը լավ ուսումնասիրված է: Դրանք բնութագրվում են անվերջ քանակությամբ դանդաղ տարածվող սեփական մոդերով որոնք գրգռվում են լիցքավորված մասնիկը առանցքով անցնելու ժամանակ: Բարձր մոդերը էականորեն փոքրացնում են հիմնական արագացնող մոդի միջոցով լիցքավորված մասնիկների արագացման էֆֆեկտիվությունը՝ խոտորելով արագացման ընթացքը: Այսպիսով պարզ է, որ միակ դանդաղ տարածվող հիմնական  $TM_{01}$  ալիքով ալիքատար համակարգի ուսումնասիրությունը հանդիսանում է կարևորագույն խնդիր ինչպես արագացուցչային ֆիզիկայի զարգացման, այնպես էլ կռիերենստ մոնոքրոմատիկ ճառագայթման նոր աղբյուր ստանալու համար:

Ատենախոսության առաջին գլխում ներկայացվել է բազմաշերտ ալիքատարում լիցքավորված մասնիկի գրգռած էլեկտրոմագնիսական դաշտերի հաշվարկման համառոտ տեսությունը: Թվային մոդելավորման միջոցով ուսումնասիրվել է երկու տեսակի երկշերտ ալիքատարերի՝ Al-NEG և Ni-Cu իմպեդանսները և կիլվատերային դաշտերը: Հետազոտվել է պայմանները որոնց դեպքում երկշերտ ալիքատարում իմպեդանսը ունենում է ռեզոնանսային բնութագրեր: Ստացված արդյունքները ցույց են տալիս, որ ներքին շերտի բավականին փոքր հաստության դեպքում իմպեդանսը ունենում է ռեզոնանսային բնույթ, երբ ներքին շերտի հաղորդականությունը փոքր է արտաքին շերտի հաղորդականությունից:

Երկրորդ գլխում ուսումնասիրվել է երկշերտ ալիքատարում առաջացող ռեզոնանսը: Իմպեդանսի համար անալիտիկ արտահայտություն ստանալու համար դիտարկվել է ալիքատարի մոդել որում վերին շերտը անվերջ հաստ իդեալական հաղորդիչ է: Ստացվել է իմպեդանսի և կիլվատերային ֆունկցիայի

համար անալիտիկ արտահայտություններ, որոնք համեմատվել է թվային մոդելավորման միջոցով ստացված արդյունքների հետ: Համակարգի ռեզոնանսային առանձնահատկությունները պարզելու համար հետազոտվել է երկշերտ ալիքատարի սեփական մոդերը ռեզոնանսային հաճախականությանը մոտ տիրություն: Ստացված արդյունքները ցույց են տալիս, որ ուսումնասիրվող համակարգում լույսի արագությունից փոքր ֆազային արագությամբ կարող է տարածվել միայն հիմնական  $TM_{01}$  մոդը, որն էլ ռեզոնանսային հաճախականության վրա սինխրոն է համակարգի առանցքով լույսի արագությամբ շարժվող մասնիկի հետ:

Երրորդ գլխում ուսումնասիրվել է իմպեդանսը և կիլվատերային դաշտերը միամոդային ռեզոնանսային արագացնող համակարգում վերջավոր էներգիայով մասնիկների համար: Ստացվել է իմպեդանսի և կիլվատերային դաշտերի համար անալիտիկ արտահայտությունները: Ցույց է տրվել, որ ստացված արտահայտությունները բավականին մեծ ճշտությամբ համընկնում են թվային մոդելավորման միջոցով ստացված արդյունքների հետ: Ուսումնասիրությունը ցույց է տվել որ համապատասխան պարամետրերի դեպքում արդեն իսկ 20ՄԷվ էներգիայով մասնիկների համար համակարգում առաջանում է նեղհաճախականային իմպեդանս:

Չորրորդ գլխում ուսումնասիրվել է կիլվատերային դաշտերով պայմանավորված միամոդային ռեզոնանսային արագացնող համակարգի բացվածքից ճառագայթված դաշտերի բնութագրերը ինչպես ուլտրառենյատիվիստիկ այնպես էլ վերջավոր էներգիայով մասնիկների համար: Հետազոտությունները ցույց են տվել, որ 20ՄԷվ էներգիա ունեցող մասնիկները միամոդային ռեզոնանսային արագացնող համակարգի բացվածքից ճառագայթում են բարձր հաճախականային մոնոքրոմատիկ ալիք: Չնայած 5ՄԷվ էներգիայով մասնիկները չեն ճառագայթում մոնոքրոմատիկ ալիք, այնուամենայնիվ ճառագայթման բնութագրերի ուսումնասիրությունը թույլ կտա որոշել էլեկտրոնների էներգիան և համակարգի հատկությունները:

Ատենախոսությունում ստացված արդյունքները կարող են օգտագործվել բարձր հաճախականային նոր արագացնող համակարգերի նախագծման, կռիերենստ մոնոքրոմատիկ ճառագայթման աղբյուրների նախագծման, փնջի պարամետրերը ախտորոշելու համար նոր մեթոդների մշակման համար: Ստացված արդյունքները լայն ճակատ են բացում փորձարարական հետազոտությունների համար ԱՐԵԱԼ գծային արագացուցիչի վրա:

## SUMMARY

One of the main tasks of current research in the area of beam physics and accelerator technology is the development of new methods of charged particle acceleration and the generation of high frequency monochromatic radiation. For the charged particle acceleration or to generate monochromatic radiation are necessary waveguide structures with slowly propagating wave or wave with phase velocity less than light velocity. Hence in a waveguide with smooth perfect conducting walls electromagnetic wave propagating with the phase velocity larger than light velocity. The disc- or dielectric-loaded structures are most known slowly traveling wave structures. The dispersion properties of such a waveguides are well known and characterized by the infinite number of slowly propagating modes, which generated when charged particle travelling along the waveguide axes. The higher modes significantly limit the efficiency of charged particle acceleration by main accelerating mode, both in terms of the perturbation of the acceleration process, and the excitation of these modes by the bunch. So it is clear that, the study of the new type of resonant structures with single slowly propagating  $TM_{01}$  mode is driven by the development of both novel coherent radiation sources, and advanced acceleration concepts.

In the first chapter of dissertation briefly presented the theory of calculation of electromagnetic fields which generated travelling charged particle in layered waveguide. Using numerical modeling methods the impedances and wake fields in two type of two-layered waveguide (Al-NEG and Ni-Cu) are investigated. The conditions under which the impedances in two-layer metallic waveguide have a resonance nature are investigated. The results shows that in case of quite thin inner layer the impedance have resonance nature when the conductivity of inner layer is much less than of outer one.

In the second chapter the resonance in two-layer waveguide is investigated. To obtain the analytical expression for impedance the waveguide model with infinite thick perfect conducting wall was observed. For impedance and wake function the analytical expressions was obtained and compared with results of numerical methods. To understand the resonance qualities of the structure the eigenmodes of two-layer waveguide near of resonances are investigated. The results show that only main  $TM_{01}$  mode can propagate in observed structure with the phase velocity less than velocity of the light and at the resonance frequency is synchronized with the relativistic charge, which traveling along the axis.

In the third chapter impedances and wake fields in single mode accelerating resonance structure for low-energy particle are investigated. Analytic expressions for impedances and wake fields were obtained. The obtained expressions are in good agreement with the results obtained by numerical methods. Investigation shows that for

carefully chosen parameters the narrow-band impedance emerge in case of particle energy 20Mev.

In the fourth chapter the field, radiated from the open end of single mode resonant accelerated structure due to wake fields, both for ultrarelativistic and low-energy particles are investigated. Researches show that for 20Mev particle energy from the open end of single mode resonant accelerated structure the radiated wave is high frequency narrow-directed and monochromatic. Nevertheless 5Mev energy particles does not radiate monochromatic wave, however radiation characteristics can be used for beam diagnostic purposes and for fixing the system properties.

The results of dissertation can be used as for construction of a new high frequency accelerated structure and new coherent monochromatic sources, as well as for new diagnostic method without perturbation of bunch. The results open the wide front for experimental researches in AREAL linear accelerator.

