

Ա.Ի. Ալիխանյանի անվան ԵՐԵՎԱՆԻ ՖԻԶԻԿԱՅԻ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ

Ցականյան Անդրանիկ Վասիլիի

ԷԼԵԿՏՐՈՆԱՅԻՆ ՓՆՋԵՐԻ ԻՄՊԵԴԱՆՍԻ ԵՎ ԿԻԼՎԱՏԵՐԱՅԻՆ
ՂԱՇՅԵՐԻ ՈՒՄԻՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐ ԱՃ ԵՎ ԱԷԼ ԱՂՔՅՈՒՐՆԵՐՈՒՄ

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

ՍԵՂՄԱԳԻՐ

Երևան -2009

ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. А.И. Аликханяна
Цаканян Андраник Васильевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ИМПЕДАНСА И КИЛЬВАТЕРНЫХ ПОЛЕЙ
ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ В ИСТОЧНИКАХ СИ И АСЭ

АВТОРЕФЕРАТ

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

Ереван-2009

Կառավարության
 ղեկավարի հաստիտուտում
 07 Մարտի 2009 թ.

Արժեքային հաստիտուտում
 Գործող ԲՈՒՀ-ի 024 մասնագիտական խորհրդի նիստում
 (375036, Երևան, Ալիխանյան Եղբայրների փող. 2):

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝
 Ֆիզմաթ. գիտությունների դոկտոր-պրոֆեսոր Է. Մ. Լազիև (ԵրՖԻ)
 Ֆիզմաթ. գիտությունների դոկտոր-պրոֆեսոր Ռ. Ավագյան (ԵրՖԻ),
 Ֆիզմաթ. գիտությունների դոկտոր-պրոֆեսոր Տ. Վեյլանդ (Դարմշտատի տեխնիկական համալսարան, Գերմանիա)

Առաջատար կազմակերպություն՝
 ՀՀ ԳԱԱ ռադիոֆիզիկայի և էլեկտրոնիկայի ինստիտուտ

Պաշտպանությունը կայանալու է 2009 թ. մարտի 17 –ին ժամը 14:00 –ին Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտում գործող ԲՈՒՀ-ի 024 մասնագիտական խորհրդի նիստում (375036, Երևան, Ալիխանյան Եղբայրների փող. 2):

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ Ա. Ալիխանյանի անվան Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտի գրադարանում:

Սեղմագիրը առաքված է փետրվարի 6 – ին 2009 թ.

024 մասնագիտական խորհրդի գիտքարտուղար Ֆիզմաթ. գիտությունների դոկտոր, պրոֆեսոր Է. Ղ. Գազազյան

Тема диссертации утверждена в Ереванском физическом институте им. А.И. Аликханяна.

Научный руководитель: доктор физ-мат наук, проф., Э. М. Лазиев (ЕрФИ)

Официальные оппоненты: доктор физ-мат наук, проф., Р. О. Авакян (ЕрФИ)
 доктор физ-мат наук, проф., Т. Вейланд (Технический университет Дармштадта, Германия)

Ведущая организация: Институт радиофизики и электроники НАН РА

Защита состоится 17 марта 2009 г. в 14:00 ч. на заседании специализированного совета ВАК 024 действующего при Ереванском физическом институте им. А.И. Аликханяна, (375036, ул. Братьев Аликханян 2, г. Ереван)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ереванского физического института им. А.И. Аликханяна.

Автореферат разослан 6 февраля 2009 г.

Ученый секретарь спец. совета 024, Д.ф.м.н. проф. Երմուշ Է. Գազազյան

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.
 Получение прецизионных электронных пучков с малым эмитансом и энергетическим разбросом в современных ускорителях на высокие энергии является одной из актуальных проблем физики пучков заряженных частиц для достижения требуемой светимости в будущем электрон-позитронном линейном колайдере [А1], генерации самоиндуцированного лазера на свободных электронах (СЛСЭ) [А2-А4] и обеспечения устойчивости электронного пучка и высокой яркости фотонного пучка в источниках синхротронного излучения (СИ) [А5]. Излучение частиц при взаимодействии электронного пучка с вакуумной камерой ускорителя является одним из основных факторов, определяющих, как эмитанс пучка и его энергетический разброс, так и развитие поперечной или продольной неустойчивостей пучка [А6, А7]. Исследование аналитических точных решений для полей излучения электронного пучка в частотной (импеданс) и временной (кильватерные поля) областях при этом приобретают особую важность, так как численные методы обладают дисперсией [А8]. Важными составляющими вакуумной камеры современных ускорителей являются структуры с конической геометрией, двухслойные и ламинированные пучкопроводы, применяемые для различных переходов, кикер магнитов, ондуляторов и вигглеров. Целью диссертационной работы является исследование импеданса и кильватерных полей, возбуждаемых прецизионными электронными пучками в источниках СИ и СЛСЭ, в частности:

- Получение точных аналитических решений для кильватерных полей излучения в структурах с конической геометрией.
- Определение поперечных потенциалов, возбуждаемых электронными сгустками в структурах с конической геометрией.
- Исследование аналитических представлений импеданса двухслойных вакуумных камер ондуляторов и вигглеров для генерации СИ и СЛСЭ.
- Исследование импеданса и кильватерных полей, возбуждаемых электронными пучками с конечным Лоренц фактором частиц.
- Разработка новых аналитических методов исследования импеданса ламинированных волноводов.

Диссертационная работа основана на исследованиях, выполненных для проекта Европейского источника САСЭ, и проектов источников СИ PETRA3 и CANDLE.

Научная новизна работы. Знание точных аналитических решений для излучения частиц (продольных и поперечных кильватерных потенциалов) при прохождении пучка через элементы ускорителя (изменение геометрии вакуумной системы, пучкопроводы с конечной проводимостью стенок, ламинированные камеры кикер-магнитов, ондуляторов и виглеров, и т.д.) является определяющим, как для достижения малых эмиттансов электронного пучка и энергетического разброса частиц в сгустке, так и для подавления неустойчивости пучка [A6-A9]. Для исследования этих эффектов, в последние годы разработан ряд численных методов и программ [A10, A11]. Однако, как вопросы сходимости этих методов, так и наличие дисперсии счета и реального изменения полей во времени, приводят к существенным погрешностям результатов для реальных структур, не позволяющим адекватно исследовать воздействие полей излучения на динамику электронного пучка. Необходимо отметить, что до настоящего времени точные аналитические решения для кильватерных потенциалов известны для случаев пролета частицы между двумя параллельными пластинами, цилиндрических замкнутых резонаторов и неограниченных волноводов с бесконечной толщиной стенок.

В диссертационной работе исследованы и получены точные аналитические решения для продольных и поперечных кильватерных потенциалов, возбуждаемых точечным релятивистским сгустком в коническом резонаторе. Найдена связь между продольным и поперечным потенциалами, являющаяся аналогом теоремы Венцеля – Пановского для структур с конической геометрией.

Для исследования эффектов взаимодействия электронного пучка с вакуумной камерой ондуляторов для ЛСЭ, в работе в ультрарелятивистском приближении получены точные аналитические решения для импеданса пучка в двухслойном пучкопроводе с конечной толщиной стенок. Найдены выражения для монополярной и дипольной компонент импеданса. Получены аналитические представления для импеданса в частных случаях пучкопроводов с металлическим и диэлектрическим слоями.

В диссертационной работе разработан новый метод определения полей излучения во внутренней и внешних областях ламинированных пучкопроводов, основанный на матричном представлении возбуждаемых электромагнитных полей. При этом, сшивка электромагнитных полей во внутренней и внешней областях пучкопровода осуществляется с помощью матриц преобразований, что позволяет получить явное представление для импеданса пучка.

Практическое значение. Полученные в диссертационной работе результаты имеют важное практическое значение для

- Получения малых эмиттансов электронного пучка и малого энергетического разброса в современных ускорителях для генерации СИ и ЛСЭ.
- Увеличения яркости источников СИ и ЛСЭ.
- Выработки технических решений при разработке вакуумных камер, ондуляторов, кикер магнитов и других компонент ускорителей.
- Для тестирования численных алгоритмов и их сходимости.

Результаты диссертационной работы были использованы для исследования односгустковой неустойчивости в источниках СИ CANDLE и PETRA3, при разработке системы распределения пучка и анализе кильватерных эффектов в ондуляторной секции Европейского источника рентгеновского ЛСЭ.

Основные положения выносимые на защиту.

1. Получены точные аналитические решения для продольных и поперечных кильватерных потенциалов в коническом резонаторе. Получено обобщение теоремы Венцеля – Пановского для структур с конической геометрией [1].
2. Получены точные аналитические решения для поперечных потенциалов в двухслойном пучкопроводе в ультрарелятивистском приближении [2,3].
3. Разработан новый метод нахождения полей излучения в ламинированных волноводах, основанный введением матриц преобразования для электромагнитных полей, возбуждаемых в стенках вакуумной камеры [5-8].
4. Получено точное решение для поперечного дипольного потенциала для частиц с конечным Лоренц фактором. Найдено точное представление для внешнего излучения и показано, что монополярная и дипольная компоненты внешнего излучения представляют собой поверхностную волну [8].
5. Результаты исследования продольных и поперечных импедансов пучка для вакуумных камер, кикер магнитов, ондуляторов и виглеров [4-7].

Апробация работы.

Материалы диссертации докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

1. Particle Accelerator Conference, PAC'05, Knoxville, Tennessee, USA, 16-20 May, 2005.
2. European Particle Accelerator Conference, EPAC '08, Genoa, Italy, 23-27 June, 2008.

Материалы диссертации также обсуждались на семинарах в ЕрФИ, ЕГУ, DESY и CANDLE.

Публикации

По материалам работы опубликовано 8 научных работ, список которых приведен в конце автореферата.

Личное участие автора в выполнении работы выразилось в исследовании и моделировании возбуждения электромагнитных полей в различных структурах ускорителя, в разработке эффективных методов преобразования электромагнитных полей в ламинированных пучкопроводах. Автором получены все основные результаты, выполнены численные расчеты для конкретных ускорителей и проведен анализ полученных результатов для исследования вопросов стабильности пучка, увеличения эмиттанса и энергетического разброса в источниках СИ и АСЭ.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка цитируемой литературы. Объем диссертации составляет 104 страниц, в том числе 29 рисунков, 3 таблиц и списка литературы из 81 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении сформулированы основные задачи, поставленные и решенные в данной работе. Обоснована актуальность темы, научная новизна проделанной работы, цель работы и краткое описание способов решения поставленных задач. Также приведено краткое описание трех глав, включая основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе диссертации вводятся определения продольных и поперечных кильватерных потенциалов и импедансов, возбуждаемых релятивистским сгустком в ускорителях, и дается краткий обзор их основных свойств.

Далее в этой главе поставлена и решена задача нахождения продольного и поперечного кильватерных потенциалов, возбуждаемых ультрарелятивистским сгустком в коническом резонаторе. Для решения поставленной задачи, в работе исследованы собственные моды конического резонатора. На рис.1 приведены распределение и силовые линии электрического поля для основной моды конического резонатора.

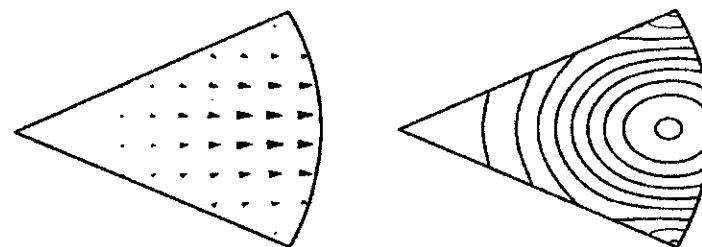


Рис. 1 Распределение и силовые линии электрического поля основной моды конического резонатора.

Электромагнитные поля, возбуждаемые релятивистским зарядом в структуре, ищутся в виде разложения по собственным модам резонатора, которые находятся решением однородного волнового уравнения с граничными условиями в сферических координатах (r, θ, φ) . Показано, что для замкнутых конических резонаторов, для m -ой мультипольной азимутальной компоненты продольного кильватерного потенциала, возбуждаемого точечным зарядом, справедливо следующее представление

$$w(\tau) = -\sum_{\nu} \frac{k_{\nu} r_0}{2U_{\nu}} J_{n+1/2}^2(k_{\nu} r_0) P_n^m(\cos \theta_1) P_n^m(\cos \theta) \cos(\omega_{\nu} \tau), \quad (1)$$

где $J_{n+1/2}$ функции Бесселя с полуцелым индексом, P_n^m - полиномы Лежандра, а τ есть временная задержка за возбуждающим зарядом. Далее в этой главе выведено соотношение Пановского-Венцеля для структур с конической геометрией, связывающее продольный $w(\tau)$ и поперечный $\bar{w}_{\perp}(\tau)$ потенциалы. Показано, что для таких структур, модифицированная теорема Пановского-Венцеля имеет вид

$$\frac{\partial \bar{w}_{\perp}(\tau)}{\partial \tau} = -\nabla_{\perp} \left[\frac{c}{r_0} w(\tau) - \frac{1}{n(n+1)} \frac{\partial w(\tau)}{\partial \tau} \right]. \quad (2)$$

Далее в работе исследуется возбуждение кильватерного потенциала для гауссовских сгустков. Показано, что для Гауссовского сгустка со среднеквадратичной длиной σ , продольный кильватерный потенциал за сгустком можно представить в виде

$$W_{||}(\tau) = \sum_V 2K_V \exp(-k_V^2 \sigma^2 / 2) \cos(k_V \tau), \quad (3)$$

где K_V соответствует энергии передаваемой V -ой моде резонатора.

На рис. 2 представлены вид продольного кильватерного потенциала для гауссовского сгустка (слева) при учете конечного числа возбуждаемых мод. Как видно из рисунка, учет первых 100 возбуждаемых мод полностью описывает реальное распределение кильватерного потенциала. На рис. 2 (справа) приведен вид продольного кильватерного потенциала за сгустком при учете 100 возбуждаемых мод. Максимум потенциала за сгустком не превосходит минимум тормозящего потенциала внутри сгустка более чем в два раза, что хорошо согласуется с теоремой нагруженного пучка. При этом, максимумы потенциала за сгустком достигаются в точках, соответствующих отражению возбужденных полей от сферической поверхности резонатора

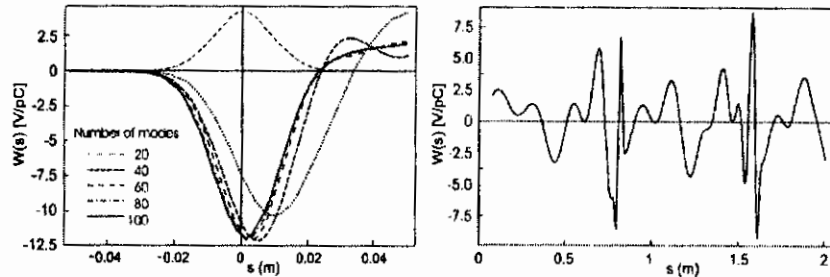


Рис. 2 Продольный кильватерный потенциал внутри и за Гауссовским сгустком.

В заключении первой главы приведены основные результаты [1]:

- Исследованы собственные моды конечного резонатора.
- Получено выражение для продольного кильватерного потенциала в виде разложения по собственным модам конечного резонатора.
- Выведен аналог теоремы Венцеля –Пановского для структур с конической геометрией.

- Получены и исследованы кильватерные потенциалы для Гауссовских сгустков.
- Исследована сходимость разложения кильватерных полей по собственным модам резонатора для Гауссовских сгустков и показано, что учет порядка 100 первых возбуждаемых мод достаточен для корректного описания потенциалов.

Вторая глава посвящена исследованию импеданса двухслойных пучкопроводов ондуляторов и вигглеров, предназначенных для генерации излучения в источниках СИ и ЛСЭ. Необходимо отметить, что для структур с конечной толщиной стенок, численное решение поставленной задачи для ультрарелятивистского заряда невозможно, поскольку выражения для полей вне пучкопровода расходятся при предельном переходе к бесконечному значению Лоренц фактора частицы. Поэтому корректное описание излучения ультрарелятивисткой частицы в такой структуре возможно, если получить аналитическое решение поставленной задачи при конечном Лоренц факторе частицы с последующим предельным переходом.

Для решения поставленной задачи, рассмотрено излучение точечного релятивистского заряда в цилиндрическом двухслойном волноводе с конечной толщиной стенок и конечной проводимостью слоев. Задача решена методом сшивки тангенциальных составляющих электрического поля на границах раздела сред. При этом поля излучения представляются в виде разложения по азимутальным мультиполям и показывается, что вклад в поле излучения дают только компоненты электромагнитного поля синхронные с фазовой скоростью равной скорости частицы.

$$\begin{aligned} \{E_r, E_z, H_\theta\}_m(\omega, r, \theta, z) &= \{E_r, E_z, H_\theta\}_m(\omega, r) \cos m\theta \exp(-j\omega z / v) \\ \{H_r, H_z, E_\theta\}_m(\omega, r, \theta, z) &= \{H_r, H_z, E_\theta\}_m(\omega, r) \sin m\theta \exp(-j\omega z / v) \end{aligned} \quad (4)$$

Далее в работе показывается, что решение для m -ой компоненты продольного электрического поля излучения частицы с конечным Лоренц фактором можно представить в виде

$$E_{zm}^{(i)}(r, k) = G_i(r) - G_i(a_1) \frac{I_m(\lambda r)}{I_m(\lambda a_2)} A_m(\lambda, k), \quad (5)$$

с предельным переходом для случая ультрарелятивистского заряда ($\lambda = k / \gamma \rightarrow 0$), имеющим вид

$$E_{zm}^{(l)}(r, k) = -\frac{jQ}{\pi \epsilon_0 c k U_m(k)} \frac{q_m}{a_1^m} \left(\frac{r}{a_2}\right)^m \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^m, \quad (6)$$

Полученное аналитическое выражение для продольного электрического поля позволяет определить монополюную ($m=0$), дипольную ($m=1$) и мультиполюные ($m>1$) компоненты продольного и поперечного импедансов

$$Z_{zm}(k) = -\frac{jZ_0}{\pi k U_m(k)}, \quad Z_{\perp m}(k) = \frac{m}{ka_2} Z_{zm}(k). \quad (7)$$

В частном случае металлических двухслойных пучкопроводов, для монополюной компоненты продольного импеданса вышеприведенное представление преобразуется в явное выражение для импеданса

$$U_0 = a_2^2 + 2 \frac{a \epsilon_3}{\epsilon_0 \chi_3} \times \frac{1 + \alpha_0 \operatorname{th} \chi_3 d_3 \operatorname{th} \chi_4 d_4}{\operatorname{th} \chi_3 d_3 + \alpha_0 \operatorname{th} \chi_4 d_4}. \quad (8)$$

Далее в этой главе результаты исследования применены для нахождения импедансов, возбуждаемых электронным сгустком в виглер магнитах и ондуляторах источников СИ CANDLE и PETRA III. На рис. 3 (слева) приведен монополюный член продольного импеданса для ондулятора CANDLE с медным пучкопроводом и внутренним слоем из NEG, а также дипольный член поперечного импеданса для виглер магнита PETRA III (Рис.3, справа)

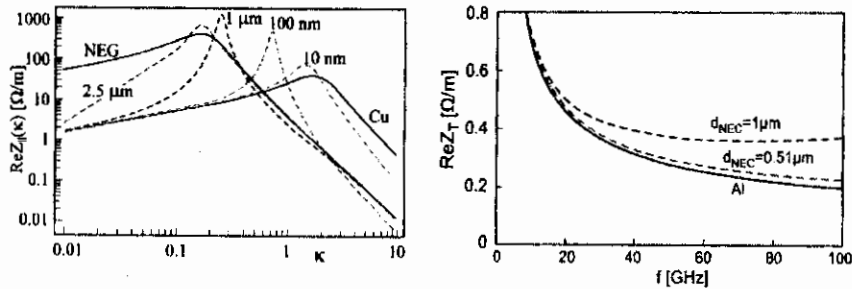


Рис. 3 Продольный монополюный импеданс для ондулятора CANDLE (слева) и дипольный поперечный импеданс для виглер магнита PETRA III (справа).

Учитывая, что мультиполюные компоненты импеданса в накопителях электронов определяют резистивную неустойчивость пучка, в работе отдельно исследованы эти эффекты для источника СИ PETRA3. На рис. 4 приведены импедансы для вакуумной камеры накопителя электронов PETRAIII для первых четырех мультиполей. На основе полученных результатов определены предельные значения накопленного тока, при котором резистивная неустойчивость в кольце не возбуждается.

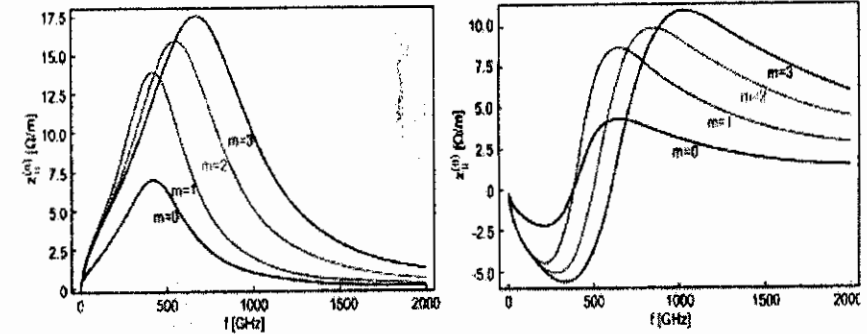


Рис. 4 Мультиполюные импедансы вакуумной камеры PETRAIII.

Основные результаты, опубликованные в работах [2-6], приведены в заключении данной главы:

- Получены точные аналитические решения для электромагнитных полей и импедансов, возбуждаемых релятивистским зарядом в двухслойном пучкопроводе с конечной толщиной стенок.
- Получены явные решения для мультиполюных компонент импеданса в случае ультрарелятивистского заряда.
- Показано, что в ультрарелятивистском приближении, мультиполюное разложение представляется степенными функциями относительно отклонения орбиты частицы от оси структуры.
- Рассчитаны и исследованы импедансы виглер магнитов и ондуляторов для источников синхротронного излучения CANDLE и PETRA III.

Третья глава диссертации посвящена излучению релятивистских частиц в ламинированных пучкопроводах, исследованию внешнего излучения, излучению частиц в структурах металл-диэлектрик и разработке новых аналитических методов описания полей излучения. Глава начинается с рассмотрения излучения частицы в многослойном цилиндрическом пучкопроводе. Отметим, что решение такой задачи для N слоев в общем случае сводится к системе $4(N+2)$ уравнений относительно $4(N+2)$ неизвестных амплитуд возбужденных полей.

В работе разработан новый метод, основанный на введении понятия матрицы преобразования электромагнитных полей, который позволяет свести число уравнений к 4 для произвольного числа слоев. Для описания возбужденных электромагнитных полей вводятся матрицы преобразования $Q^{(i)}$ для тангенциальных составляющих электромагнитных полей через i-ый слой

$$\hat{T}_m^{(i)}(\chi_i a_i) = \hat{Q}^{(i)} \hat{T}_m^{(i)}(\chi_i a_{i+1}), \quad (9)$$

и доказывается, что для любого числа слоев электромагнитные поля на внутренней и внешней поверхностях пучкопровода связаны соотношением

$$\hat{T}_m^{in}(r = a_1) = \hat{Q}^{(1)} \cdot \hat{Q}^{(2)} \dots \hat{Q}^{(N)} \hat{T}_m^{(N)}(\chi_N a_{N+1}) = \hat{Q} \hat{T}_m^{out}(r = a_{N+1}). \quad (10)$$

Полная матрица преобразования тангенциальных составляющих электромагнитного поля тогда представляет собой произведение матриц перехода отдельных слоев

$$\hat{Q} = \hat{Q}^{(1)} \hat{Q}^{(2)} \dots \hat{Q}^{(N)}. \quad (11)$$

Таким образом, электродинамические свойства стенок ламинированного пучкопровода полностью определяются заданием матрицы преобразования \hat{Q} , которая имеет размерность 4×4 и уравнение для неизвестных амплитуд возбужденных полей $\hat{D}(D_1, D_2, D_3, D_4)$ во внутренней и внешней областях тогда сводится в матричной форме к

$$\hat{S} \cdot \hat{D} = -\hat{R}^{(P)}, \quad (12)$$

с явным решением в матричной форме

$$\hat{D} = -\hat{S}^{-1} \hat{R}^{(P)}. \quad (13)$$

Далее в этой главе исследуются поля излучения во внутренней и внешней областях пучкопровода. В работе получены выражения для полей внутреннего и внешнего излучения, и соответственно для импедансов. В частности, в диссертации показано, что импедансы во внутренней и внешней областях пучкопровода имеют вид

$$\begin{aligned} E_z^{in} &= -j \frac{qZ_0}{\pi k a_1^2} \left(1 - \frac{2}{k a_1} \frac{Q_{33}}{Q_{23}} \right)^{-1}, \\ E_r^{out} &= -\frac{qZ_0}{2\pi a_1} \left(Q_{33} - \frac{k a_1}{2} Q_{23} \right)^{-1} \frac{a_{N+1}}{r} \end{aligned} \quad (14)$$

Также в этой главе показано, что в ультрарелятивистском приближении, монополярная и дипольная компоненты внешнего излучения представляют собой поверхностную волну.

Отдельно исследована дипольная компонента излучения для заряженных частиц с большим, но конечным Лоренц фактором γ . Для дипольной компоненты импеданса в приближении больших Лоренц факторов частицы получено асимптотическое разложение, которое содержит логарифмическую зависимость от $P_0 = \ln(k a_{N+1} / 2\gamma)$.

Поэтому для конечной энергии частицы при ультрарелятивистском приближении необходим учет этого члена разложения для корректного описания дипольного импеданса пучка.

В этой главе отдельно исследован импеданс пучка в структурах металл-диэлектрик, являющихся важной компонентой вакуумной камеры современных ускорителей. В работе найдено точное аналитическое решение для монополярного продольного импеданса, которое имеет вид

$$U(k) = a_1^2 + 2 \frac{a_1 \epsilon_1}{\chi_1 \epsilon_0} \frac{1 - j \alpha \operatorname{th}(\chi_1 d_1) \operatorname{tg}(k n' d_2)}{\operatorname{th}(\chi_1 d_1) - j \alpha \operatorname{tg}(k n' d_2)} \quad (15)$$

На рис. 5 приведены продольный и поперечный импедансы для вакуумной камеры кикер магнита Европейского источника СЛСЭ, который представляет собой структуру с вакуумной камерой металл-керамика. На основе полученных результатов, найден энергетический разброс и увеличение импеданса пучка в системе распределения на входе в ондуляторную секцию Европейского источника СЛСЭ.

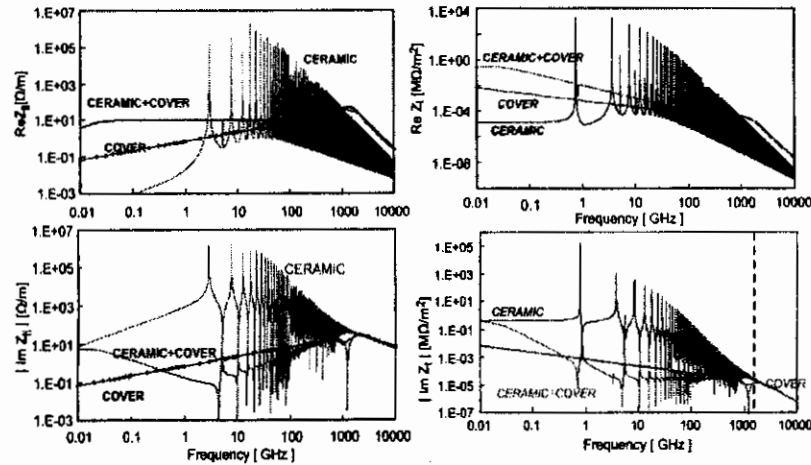


Рис. 5 Продольный и поперечный импедансы для кикер магнитов Европейского источника САСЭ.

В заключении к третьей главе подытожены основные результаты главы, опубликованные в работах [5,7-8]:

- Разработан новый метод расчета электромагнитных полей на основе матриц преобразования, позволяющий свести число уравнений к 4 для произвольного числа слоев пучкопровода.
- Получены явные представления для внутренних и внешних полей излучения в матричной форме.
- Исследована дипольная поперечная компонента импеданса для частицы с конечным Лоренц фактором и показано, что для ультррелятивистских частиц необходимо учитывать логарифмическую поправку для корректного описания возбуждаемых полей.
- Показано, что для ультррелятивистской частицы монополярная и дипольная компоненты внешнего излучения представляют собой поверхностную волну.
- Исследовано и получено точное решение импедансов для структур метал-керамик.

В заключении к диссертации приведены основные выводы:

1. Исследовано возбуждение электромагнитных полей в структурах с конической геометрией. Найдены точные аналитические решения для продольного и поперечного потенциалов, возбуждаемых релятивистским сгустком в коническом резонаторе. Доказана обобщенная теорема Венцеля-Пановского для структур с конической геометрией [1].
2. Получено аналитическое представление для поперечного импеданса двухслойных пучкопроводов ондуляторов и виглеров, применяемых в источниках СИ и АСЭ [2,3].
3. Разработан новый матричный метод описания электромагнитных полей, возбуждаемых в ламинированных волноводах, позволяющий найти явное выражение для полей внутреннего и внешнего излучения [5,6-8].
4. Найдена релятивистская поправка для дипольного импеданса для частиц с конечным Лоренц фактором [8].
5. Исследованы и найдены точные представления для продольного и поперечного импедансов ондуляторов, виглеров и кикер магнитов для источников излучения CANDLE, PETRAIII и Европейского рентгеновского АСЭ [4,6-8].

Цитируемая литература

- Л1. TESLA TDR, DESY Report No DESY-2001-011, 2001.
- Л2. LCLS CDR, SLAC Report No. SLAC-R-593, 2002.
- Л3. M.Altarelli, R.Brinkmann et al (editors), XFEL. The European X-Ray Free-Electron Laser, DESY 2006-097, July 2006.
- Л4. Z. Huang, K. Kim, Phys. Rev. ST-AB, v.10, 0348201, 2007.
- Л5. J. Corbett, T.Rabedeau, Synch. Rad. News 12, 22, 1999.
- Л6. B.W.Zotter and S.A.Kheifetz, Impedances and Wakes in High-Energy Particle Accelerators (World Scientific, Singapore, 1997).
- Л7. A.W. Chao, Physics of Collective Beam Instabilities in High Energy Accelerators (Wiley, New York, 1993).
- Л8. K.L.F. Bane, M. Sands, SLAC-PUB-95-7074, December 1995.
- Л9. A. Piwinski, IEEE Trans. Nucl. Sci. 24, No.3, pp. 1364-1366, 1977.
- Л10. R.Glukshtern and B.Zotter, Phys. Rev. ST-AB, 4, 024402, 2001.
- Л11. N. Wang, Q. Qin, Phys. Rev. ST-AB, v. 10, 111003 2007.

Результаты диссертации опубликованы в следующих работах:

1. A. Tsakanian, Analytical calculation of wake fields in conical cavity, Nucl. Instr. Meth. A548, pp. 298-305, 2005.
2. M. Ivanian, A. Tsakanian, Transverse impedance of two-layer tube, Proc. of Part. Accel. Conf. 2005, Knoxville, Tennessee, pp.3138 - 3140, 2005.
3. M. Ivanian, A. Tsakanian, Analytical presentation of resistive impedance for the laminated vacuum chamber, Phys.Rev.ST Accel.Beams 9, pp. 034404-034412, 2006.
4. G. Amatuni, A. Tsakanian et al, Dynamic aperture, impedances and instabilities in CANDLE light source, ICFA Beam Dyn. Newslett., v.44, pp. 176-183,2007.
5. A. Tsakanian, M. Dohlus, I. Zagorodnov, Numerical Studies of Resistive Wall Effects, Proc. of Europ. Part. Accel. Conf. EPAC08, Genoa, Italy, pp. TUPP075, 2008.
6. M. Ivanian, E. Laziev, V. Tsakanov, A. Tsakanian, A. Vardanyan, R. Wanzenberg, PETRA III Storage Ring Resistive Wall Impedance, ICFA Beam Dyn. Newslett., v.45, pp. 125-138,2008.
7. A. Tsakanian, M. Ivanian, J. Rossbach, Longitudinal and Transverse Impedances of XFEL Kicker Vacuum Chamber, Proc. of Europ. Part. Accel. Conf. EPAC08, Genoa, Italy, pp. TUPP076, 2008.
8. M. Ivanian, E. Laziev, A. Tsakanian, V. Tsakanov, A. Vardanyan, S. Helfets, Multilayer tube impedance and external radiation, Phys.Rev.ST Accel.Beams 11, pp. 084001-084011, 2008.

Ամփոփագիր

Ժամանակակից արագացուցիչներում փոքր էմիտանսով և փոքր էներգետիկ ցրվածությամբ էլեկտրոնային թանձրուկների ստացումը լիցքավորված մասնիկների փնջերի ֆիզիկայի հրատապ խնդիրներից մեկն է ինչպես ինքնամակածված ազատ էլեկտրոններով լազերների (ԻԱԷԼ) զեներացիայի համար, այնպես էլ սինքրոտրոնային ճառագայթման (ՍՃ) աղբյուրներում բարձր պայծառության ապահովման համար: Էլեկտրոնային թանձրուկի ճառագայթումը, արագացուցչի վակուումային խցիկի հետ փոխազդեցության պատճառով, հանդիսանում է թանձրուկի լայնական կամ երկայնական անկայունությունների զարգացումը որոշող հիմնական գործոններից մեկը:

Ատենայնության մեջ ուսումնասիրված են ՍՃ և ԻԱԷԼ աղբյուրներում իմպեդանսները և կիլվատերային դաշտերը: Ուսումնասիրված է էլեկտրամագնիսական դաշտերի մակածմամբ կոնային երկրաչափությամբ կառուցվածքներում: Գտնված են կոնային ռեզոնատորում ռեյատիվիստական թանձրուկի առաջացրած լայնական և երկայնական կիլվատերային պոտենցիալների անալիտիկ լուծումները: Ապացուցված է Պանովսկի - Վենգելի թեորեմի ընդհանրացումը կոնական երկրաչափությամբ կառուցվածքների համար: Գաոսյան թանձրուկների համար ստացված և ուսումնասիրված են կիլվատերային պոտենցիալները: Ուսումնասիրված է Գաոսյան թանձրուկի համար վերլուծված կիլվատերային դաշտերի շարքի գուգամիտությունը, և ցույց է տրված, որ պոտենցիալների ճշգրիտ նկարագրման համար բավարար է հաշվի առնել առաջին հարյուր զրգռվող մոդերը:

Ստացված է ՍՃ և ԻԱԷԼ աղբյուրներում կիրարկող անդուլատորների և վիզերների երկշերտ փնջատարերի իմպեդանսների անալիտիկ տեսքը: Ուտրառեյատիվիստական լիցքի համար ստացված են իմպեդանսի մուլտիպոլ բաղադրիչների ճշգրիտ անալիտիկ լուծումները:

Մշակված է բազմաշերտ ալիքատարներում էլեկտրամագնիսական դաշտերը հաշվելու նոր մեթոդ, որի հիմքում ընկած է ձևափոխության մատրիցների գաղափարը: Ստացված են ճառագայթման ներքին և արտաքին դաշտերի բացահայտ տեսքերը՝ արտահայտված ձևափոխության մատրիցներով: Ուսումնասիրված է վերջավոր Լորենց ֆակտորով մասնիկի լայնական իմպեդանսի դիպոլային բաղադրիչը: Ստացված և հետազոտված են իմպեդանսի ճշգրիտ լուծումները դիէլեկտրիկ - մետաղ համակարգերի համար:

Ուսումնասիրված և կատարված են European XFEL և PETRA 3 միջազգային նախագծերի վիզերների և անդուլատորների իմպեդանսների ճշգրիտ հաշվարկները: