

Ա. Բ. Ալիխանյանի անվան ԱԶԳԱՅԻՆ ԳԻՏԱԿԱՆ ԼԱԲՈՐԱՏՈՐԻԱ
(Երևանի ֆիզիկայի ինստիտուտ)

Վարդանյան Տիգրան Լևոնի

ՎՐԳՂԵՐԱՅԻՆ ԵՎ ՕՆԴՈՒԼՅԱՏՈՐԱՅԻՆ ՃԱՌԱԳԱՑԹՄԱՆ ԷՆԵՎՏՆԵՐԻ
ՈՒՍՈՒՄՆԱՍԻՐՈՒԹՅՈՒՆԸ ԷԼԵԿՏՐՈՆԱՅԻՆ ԱՐԳԱՑՈՒՑԻՉՆԵՐՈՒՄ

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

ՄԵՆՍԱԳՐ

ԵՐԵՎԱՆ-2015

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

Варданян Тигран Левонович

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ ВИГГЛЕРНОГО И ОНДУЛЯТОРНОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ В ЭЛЕКТРОННЫХ УСКОРИТЕЛЯХ

АВТОРЕФЕРАТ

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

ЕРЕВАН-2015

Ատենախոսության թեման հաստատված է Երևանի պետական համալսարանում

Գիտական ղեկավար՝

Ֆիզ. մաթ. գիտ. դոկտոր
Վ. Մ. Ցականով (ԵՊՀ, ՔԵՆԴԼ ՍՀԻ)

Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝

Ֆիզ. մաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր
Է. Մ. Լազիև (ՔԵՆԴԼ ՍՀԻ)

Առաջատար կազմակերպություն՝

Ֆիզ. մաթ. գիտ. դոկտոր,
Վ. Նեկիև, (ՂԵՁԻ, ԳՂՀ)
ՀՀ ԳԱԱ Ռադիոֆիզիկայի և
Էլեկտրոնիկայի Ինստիտուտ

Պաշտպանությունը կայանալու է 2015թ. մայիսի 26-ին ժամը 14.00-ին Ա. Բ. Ալիխանյանի անվան ազգային գիտական լարրատորիայում 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 լարրատորիայի գրադարանում:

Սեղմագիրն ատարված է 2015թ. ապրիլի 22-ին:

024 մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար, ֆիզ. մաթ. գիտ. դոկտոր

Գ. Ռ. Կարախանյան

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 (КЕНДЛ ИСИ)

доктор физ.-мат. наук
В. Декинг (ДЕЗИ, ФРТ)

Ведущая организация:

Институт Радиофизики и Электроники НАН РА

Защита диссертации состоится 26 мая 2015г. в 14.00 часов на заседании специализированного совета ВАК 024 "Физика ядра и элементарных частиц" действующего при Национальной научной лаборатории им. А. И. Алиханяна (0036, Ереван, ул. братьев Алиханян 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ННЛА.

Автореферат разослан 22 апреля 2015г.

Ученый секретарь спец. совета 024, д.ф.м.н.

Д. Р. Караханян

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы.

Достижение малых эмиттансов электронного пучка в современных накопителях электронов является одной из важных проблем для достижения высокой яркости синхротронного излучения. Равновесный эмиттанс пучка в накопителях электронов определяется балансом радиационного затухания и квантовых флуктуаций поперечных колебаний частиц. Без возмущения основной магнито-оптической системы ускорителя дополнительное радиационное затухание в систему можно ввести с помощью специальных вигглер магнитов, устанавливаемых в свободных промежутках кольца. Хотя такие магниты усиливают нелинейные эффекты в системе и приводят в общем случае к сужению динамической апертуры поперечных колебаний, при определенных условиях возможно значительное сжатие поперечного эмиттанса пучка с сохранением динамической апертуры кольца в допустимых пределах. Исследование возможности применения дамппинг вигглеров в накопительном кольце "КЕНДЛ" является очень важным для достижения максимально возможной яркости синхротронного излучения.

В последнем десятилетии резко вырос интерес к терагерцовым источникам излучения из-за широкого спектра их возможных применений. Это привело к стремительному развитию методов получения терагерцового (ТГц) излучения. Наиболее перспективным с точки зрения параметров излучения (мощность, длительность импульса, монохроматичность) является генерация когерентного излучения частиц в ондуляторах на основе принципа самоиндуцируемого лазера на свободных электронах (СЛСЭ). Реализация СЛСЭ ставит жесткие требования к параметрам электронного пучка, которым удовлетворяют проектные параметры линейного ускорителя "АРЕАЛ". Целью проекта "АРЕАЛ" является генерация ультракоротких электронных пучков с предельно малым эмиттансом с энергией электронов до 50 МэВ. Одним из перспективных направлений развития "АРЕАЛ" является генерация когерентного терагерцового излучения на основе СЛСЭ.

Спиральные ондуляторы имеют важное значение в современных источниках синхротронного излучения и в ЛСЭ. Излучение частиц в спиральных ондуляторах имеет ряд важных специфических свойств таких, как высокая интенсивность, осевая симметрия распределения мощности, узконаправленный характер, круговая поляризация. Большинство работ в этой области относятся к излучению спирального ондулятора в свободном пространстве. Однако, в действительности, пучок движется в металлической вакуумной камере - волноводе, который модифицирует поля излучения. Непрерывный спектр ондуляторного излучения

при этом преобразуется в дискретный спектр, обусловленный собственными модами волновода. При определенных условиях возможно усиление основной возбуждаемой моды волновода за счет перераспределения энергии излучения. Важной проблемой при рассмотрении движения частиц в спиральном ондуляторе является также коллективные эффекты, связанные с взаимодействием частиц электронного пучка с излучением, которые могут быть исследованы в терминах кильватерных потенциалов.

Цель работы.

Целью диссертационной работы является:

- Исследование возможности применения вигглер магнитов для уменьшения эмиттанса электронного пучка в накопительном кольце "КЕНДЛ" и влияние вигглеров на динамическую апертуру кольца.
- Исследование самоиндуцируемого лазера на свободных электронах на выходном пучке ускорителя "АРЕАЛ" для получения когерентного излучения в терагерцовом диапазоне.
- Исследование влияния цилиндрического волновода на излучение электронов в спиральном ондуляторе.

Научная новизна.

Научная новизна работы состоит в следующем:

1. Предложена оптимальная схема для существенного уменьшения эмиттанса пучка в накопительном кольце проекта источника синхротронного излучения "КЕНДЛ".
2. Показана возможность получения когерентного терагерцового излучения с пиковой мощностью до 25 МВт в диапазоне частот от 5 до 30 ТГц на выходном пучке линейного ускорителя "АРЕАЛ" с помощью самоиндуцируемого лазера на свободных электронах.
3. Исследовано влияние волновода на формирование дискретного спектра излучения в спиральном ондуляторе. Впервые получено аналитическое представление для продольного кильватерного потенциала точечного заряда. Исследованы распределения кильватерных потенциалов для гауссовских и однородных электронных пучков.

Практическая ценность.

- Результаты, полученные в первой главе работы, могут быть использованы для уменьшения эмиттанса пучка в накопительном кольце проекта источника синхротронного излучения "КЕНДЛ", что дает возможность увеличения яркости фотонных пучков почти в 4 раза.
- Результаты второй главы могут быть использованы для генерации мощного когерентного излучения в терагерцовой области частот на ускорителе "АРЕАЛ" на основе СЛСЭ.
- Результаты, полученные в третьей главе, могут быть использованы для оптимизации излучения спирального ондулятора в цилиндрическом волноводе, генерации монохроматического излучения и исследования динамики пучка в ондуляторах с учетом эффектов излучения.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Исследована возможность сжатия эмиттанса пучка в накопительном кольце проекта источника "КЕНДЛ". Найдены оптимальные условия достижения малого эмиттанса при сохранении в допустимых пределах динамической апертуры нелинейных колебаний в кольце.
2. Исследован процесс СЛСЭ на выходном пучке линейного ускорителя "АРЕАЛ" для плоского и спирального ондулятора. Показана возможность генерации когерентного излучения с пиковой мощностью до 25 МВт в терагерцовой области частот.
3. Исследованы особенности распределения возбуждаемых мод в цилиндрическом волноводе для спирального ондулятора. Показана возможность и найдены условия фильтрации мод для усиления основных возбуждаемых мод.
4. Впервые получены аналитические представления продольных кильватерных потенциалов для спирального движения частиц в цилиндрическом волноводе. Исследована модуляция энергии частиц для пучков с гауссовским и равномерным распределением.

Апробация работы.

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих конференциях:

1. International Particle Accelerator Conference, IPAC 2011, San-Sebastian, Spain, 2011.
2. International Particle Accelerator Conference, IPAC 2014, Dresden, Germany, 15-20 June, 2014.
3. Free Electron Laser Conference, FEL2014, Basel, Switzerland, 25-29 August, 2014.

Материалы диссертации также обсуждались на семинарах в ЕГУ и ИСИ КЕНДЛ.

Публикации.

По материалам диссертации опубликовано 6 научных работ, список которых приведен в конце автореферата.

Структура и объем работы.

Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения и списка цитируемой литературы. Общий объем диссертации составляет 104 страниц, в том числе 42 рисунков, 15 таблиц и списка литературы из 90 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 динамики электронного пучка в накопителях электронов с учетом радиационного сжатия и квантовой раскачки поперечных колебаний с учетом дамппинг вигглер магнитов. Приведены основные требования к магнитной системе ускорителя и вигглер магнитам для получения радиационного сжатия пучка в горизонтальной плоскости. Также приведены основные параметры накопительного кольца "КЕНДЛ" и параметры трех проектных вигглеров.

Во второй части первой главы с помощью численного моделирования было исследовано влияние дамппинг вигглеров на горизонтальный эмиттанс и динамическую апертуру электронного пучка в накопительном кольце "КЕНДЛ".

Исследованы зависимости эмиттанса от магнитного поля и периода дамппинг вигглеров (рис. 1). Показано, что для дамппинг вигглера с полем 5.7 Т и периодом 5 см возможно сжатие эмиттанса пучка более чем в два раза (7.6 нм-рад) по сравнению с эмиттансом в системе с нулевой дисперсией (16 нм-рад).

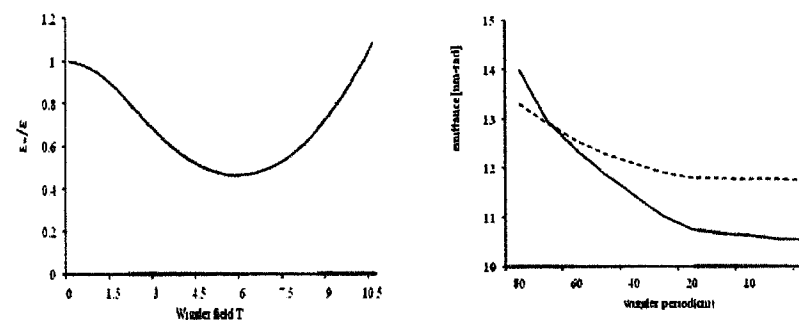


Рис. 1. Зависимости эмиттанса пучка от поля дамппинг вигглера (слева) и периода (справа).

Исследованы влияния проектных вигглеров (вигглер 1 - поле-2 Т, период 17 см, вигглер 2 - поле - 1.3 Т, период 7см, вигглер 3 - поле-3 Т, период 5 см,) на динамическую апертуру электронного пучка (рис. 2). Полученные результаты показывают, что уменьшения динамической апертуры не превышает 15%, что лежит в пределах допустимого.

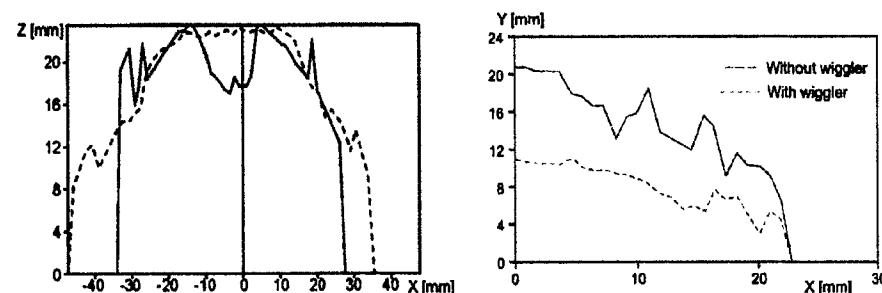


Рис. 2. Влияние проектных вигглеров (2 Т, 17 см - слева, 3 Т, 5 см - справа) на динамическую апертуру пучка.

Исследованы влияния различных дамппинг вигглеров на динамическую апертуру пучка (рис. 3). Полученные результаты показывают, что при числе периодов вигглер магнита порядка 80 (длина периода 5 см) наблюдается резкое уменьшение динамической апертуры вертикальных колебаний.

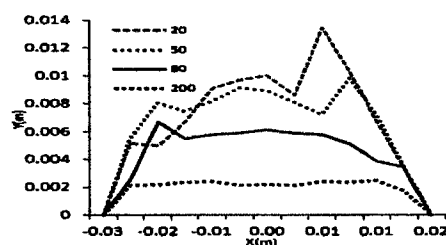


Рис. 3. Влияние различных дамппинг вигглеров на динамическую апертуру пучка.

В диссертации показано, что с точки зрения радиационного сжатия эмиттанса пучка и динамической апертуры накопительного кольца, наиболее оптимальным вариантом является вигглер с полем 2.5 Т и длиной периода 8 см (50 периодов). При этом проектный эмиттанс уменьшается приблизительно в 1.4 раза

Во второй главе диссертационной работы исследована возможность генерации СЛСЭ в терагерцовой области на выходном пучке линейного ускорителя "АРЕАЛ". В начале главы дан краткий обзор современных методов получения терагерцового излучения. Приведено краткое описание принципа самоиндуцируемого лазера на свободных электронах. Приведены основные требования, которым должен удовлетворять электронный пучок (малый эмиттанс, малая длительность сгустка, малый энергетический разброс) в ускорителе для получения СЛСЭ. Сформулированы основные задачи которые нужно решать для исследования процесса СЛСЭ и дано краткое описание программы "ГЕНЕЗИС" для численного моделирования процесса.

Далее в той же главе приведены основные проектные параметры линейного ускорителя "АРЕАЛ" и параметры электронного пучка, полученные на первой стадии реализации проекта. Показано, что параметры электронного пучка "АРЕАЛ" удовлетворяют требованиям СЛСЭ.

Таблица 1. Параметры электронного пучка проекта АРЕАЛ	
Энергия	20-50 МэВ
Заряд в сгустке	250 пК
Нормализованный эмиттанс	0.3 мм-мрад
Длительность пучка	0.4-8 псек
Энергетический разброс	0.1%

Во второй части главы, с помощью численного моделирования, была исследована генерация СЛСЭ для выходного электронного пучка "АРЕАЛ" с

параметрами, приведенными в Таб. 1. Рассмотрены случаи плоского и спирального ондулятора (магнитное поле – 0.75 Т, параметр К – 2, длина – 5 м, период – 3 см).

Для пучка с энергией 35 МэВ и длительностью сгустка в 2 псек показано, что насыщение СЛСЭ происходит на длине ондулятора 3.7 м (рис. 4). При этом пиковая мощность достигает 27 МВт с энергией в импульсе 40 мкДж при длине излучаемой волны 10 мкм (30 ТГц). Так же исследовано распределение мощности излучения в промежутке длительности импульса (рис. 4).

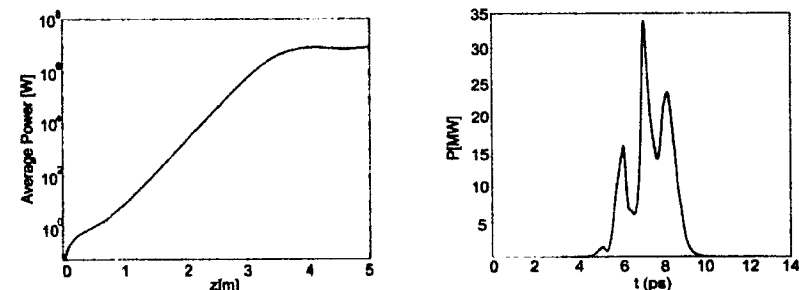


Рис. 4. Насыщение СЛСЭ (слева), распределение мощности внутри сгустка (справа), (пучок - 35 МэВ, 2пс), плоский ондулятор.

Для пучка с энергией 20 МэВ и длительности электронного сгустка в 3 псек насыщение СЛСЭ происходит на длине ондулятора 3.4 м. При этом критическая мощность равна 14 МВт с энергией в импульсе 60 мкДж при длине излучаемой волны в 30 мкм (10 ТГц). Исследован также спектр излучения для двух пучков (рис. 5). Результаты исследований показывают, что излучение характеризуется высокой степенью монохроматичности.

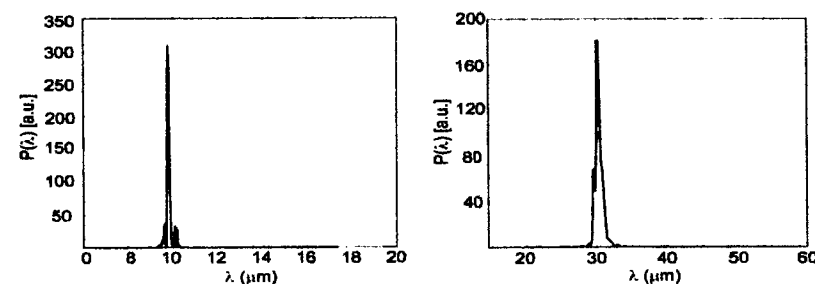


Рис. 5. Спектр излучения электронных пучков с энергией 35 МэВ (слева) и 20 МэВ (справа).

Для спирального ондулятора насыщение ЛСЭ происходит на длине ондулятора 2.73 м (рис. 6) для пучка с энергией 20 МэВ и с длительностью сгустка в 3 псек. При этом пиковая мощность достигает 24 МВт с энергией в импульсе 30 мкДж при длине излучаемой волны в 16 мкм (18 ТГц). Для пучка с энергией 30 МэВ и с длительностью импульса в 8 псек насыщение ЛСЭ происходит на длине ондулятора в 3 м. Критическая мощность при этом равна 3 МВт, энергия в импульсе 120 мкДж при длине излучаемой волны 50 мкм (6 ТГц).

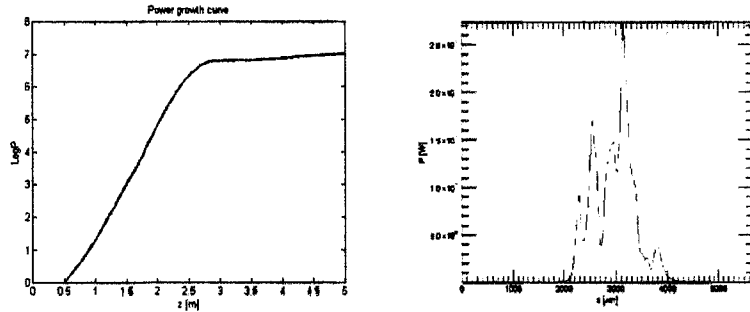


Рис. 6. Процесс СЛСЭ (слева) и распределение мощности в импульсе (справа) для электронного пучка с энергией 20 МэВ в спиральном ондуляторе.

Полученные результаты показывают, что на ускорителе "АРЕАЛ" возможно получить когерентное терагерцовое излучение в диапазоне от 6 до 30 ТГц с пиковой мощностью до 27 МВт с использованием, как плоских, так и спиральных ондуляторов.

В третьей главе диссертационной работы исследованы эффекты излучения частиц в спиральном ондуляторе с цилиндрическим волноводом. В первой части главы исследовано излучение заряженной частицы Q движущейся по винтовой траектории по оси цилиндрического волновода с идеальными стенками. Из неоднородных уравнений Максвелла методом разложения поля по собственным модам волновода, используя методику интегрирования в комплексной плоскости получены аналитические выражения для продольных компонентов поля:

$$E_{z, nm} = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 b^2} \frac{J_n(j_{nm} a/b)}{J_{n-1}^2(j_{nm})} J_n(j_{nm} r/b) e^{i(n\varphi - \omega_{nm}^* t + k_{z, nm}^* z)}$$

$$H_{z, nm} = \frac{Q a^2 \omega_0}{2\pi b^3} \frac{i v_{nm}^3}{v_{nm}^2 - n^2} \frac{J_n'(v_{nm} a/b)}{f(v_{nm}) J_n^2(v_{nm})} J_n(v_{nm} r/b) e^{i(n\varphi - \omega_{nm}^* t + k_{z, nm}^* z)}$$

$$\omega_{nm}^* = n\omega_0 + k_{z, nm}^* \beta_{\parallel} c, \quad f(\lambda_{nm}) = \sqrt{n^2 \beta_{\perp}^2 - \gamma_{\parallel}^2 \lambda_{nm}^2 a^2 / b^2}, \quad k_{z, nm}^* = \frac{\gamma_{\parallel}^2}{a} [n\beta_{\parallel} \beta_{\perp} + f(\lambda_{nm}) \text{sign}(z - l^*)]$$

где b - радиус волновода, a - радиус спирали, ω_0 - частота спирального вращения.

На рис. 7 приведен дискретный спектр спонтанного излучения электронного сгустка с энергией 12 МэВ и зарядом 100 пК в спиральном ондуляторе с магнитным полем 0.1 Т и периодом 8 см. Параметры подобраны так, чтобы на выходе получилось терагерцовое излучение в диапазоне от 2 до 10 ТГц. Проведено сравнение полученного спектра с непрерывным спектром в отсутствие волновода.

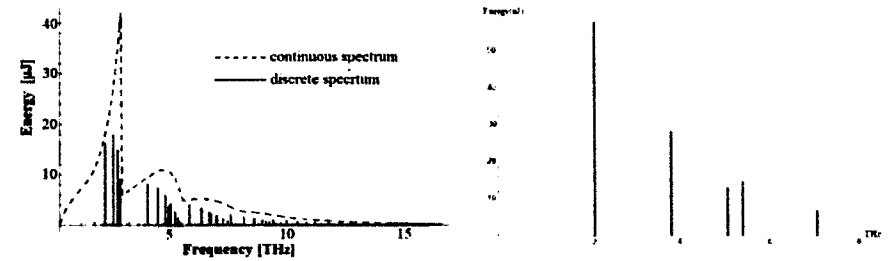


Рис. 7. Дискретный спектр излучения при радиусах волновода 10 мм (слева) и 3 мм (справа). Непрерывный спектр ондуляторного излучения в пустом пространстве показан пунктирной линией.

Для малых радиусов волновода показано, что возможна фильтрация генерируемых мод с перераспределением энергии и усилением основной возбуждаемой моды волновода (рис. 7).

Во второй части этой главы исследованы кильватерные потенциалы в цилиндрическом волноводом для спирального ондулятора. С помощью интегрирования по орбите частиц в движущейся текущей системе координат, связанной с ведущей частицей, получено аналитическое выражение для продольного кильватерного потенциала, который имеет вид:

$$w_s(s) = \frac{1}{\pi\epsilon_0 b^2} \text{Re} \sum_{n, m} (C_{nm} e^{i g(j_{nm}) s} + D_{nm} e^{i g'(j_{nm}) s})$$

$$C_{nm}(s) = -\frac{\gamma_{\parallel}^2 f^2(j_{nm})}{\beta} \left\{ \beta_{\parallel} + \text{Sign}(s) \frac{n\beta_{\perp}}{f(j_{nm})} \right\} \frac{J_n^2(j_{nm} a/b)}{j_{nm}^2 a^2 / b^2 J_n^2(j_{nm})}$$

$$D_{nm}(s) = -\frac{\gamma^2 \beta_{\perp}^2}{\beta} \left\{ \beta_{\parallel} \text{Sign}(s) + \frac{n\beta_{\perp}}{f(v_{nm})} \right\} \frac{v_{nm}^2}{n^2 - v_{nm}^2} \frac{J_n^2(v_{nm} a/b)}{J_n^2(v_{nm})}$$

где S - расстояние между ведущей и тестовой частицей, j_{nm}, v_{nm} - корни функции Бесселя и ее производной. Получены условия для не затухающих мод в зависимости от параметров волновода и частицы:

$$\beta_{\perp}^2 \geq \frac{\gamma^{-2} \lambda_{nm}^2 (a/b)^2}{n^2 - \lambda_{nm}^2 (a/b)^2} = \theta_{nm}^{\lambda}$$

На Рис. 8 приведено распределение кильватерной функции для точечного заряда с энергией 20 МэВ в одномодовом и двухмодовом режиме.

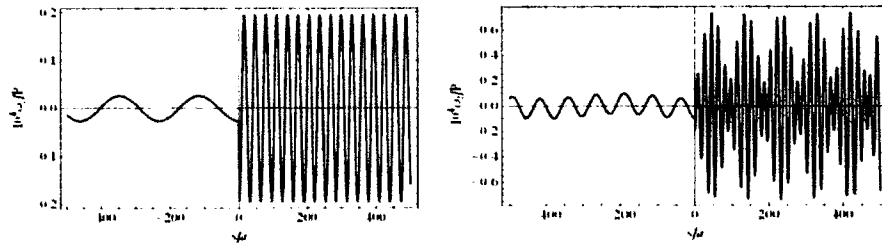


Рис 8. Кильватерные функции для точечного заряда в одномодовом (слева) и двухмодовом (справа) режимах.

На Рис. 9 приведено распределение кильватерных полей для Гауссовского распределения частиц с энергией 20 МэВ в одномодовом и двухмодовом режиме. Так же исследовано распределение кильватерных полей для трехмодового режима и для различных длин Гауссовского пучка.

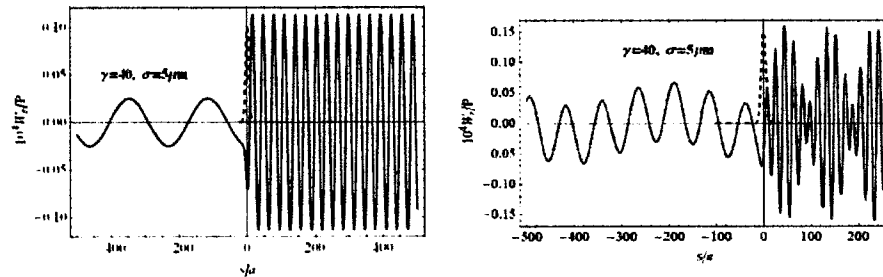


Рис 9. Распределение кильватерных потенциалов для Гауссовского распределения в одномодовом(слева) и двухмодовом (справа) режимах $\sigma = 5$ мкм.

Далее в диссертации исследована модуляция энергии внутри равномерного пучка в спиральном ондуляторе. Показано, что при определенных условиях, происходит модуляция энергии частиц на длине волны излучаемой моды.

В конце этой главы исследовано излучение заряженной частицы в спиральном ондуляторе с цилиндрическим волноводом со стенками конечной проводимости.

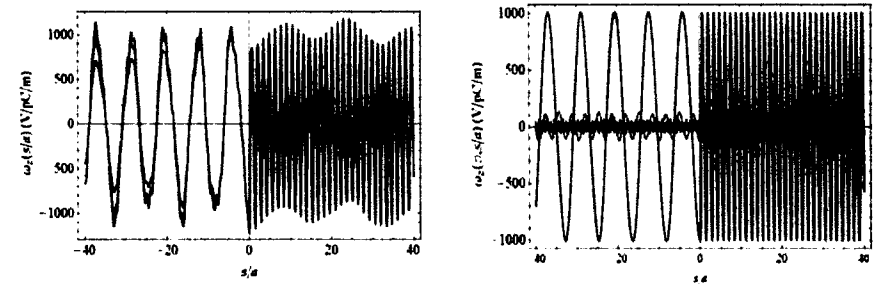


Рис 10. Кильватерные функции точечного заряда (слева), энергия 5 МэВ, $\sigma = 10^8 \Omega^{-1} \text{м}^{-1}$ (синяя), $\sigma = 10^2 \Omega^{-1} \text{м}^{-1}$ (красная), идеальный проводник (черная). Относительное воздействие мод (справа) TM_{11} (черная), TM_{21} (красная), TM_{31} (синяя). На Рис. 10 приведено распределение кильватерной функции для точечного заряда с энергией 5 МэВ в мультимодовом режиме для различных проводимостей стенки.

В заключении сформулированы основные результаты и выводы.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИИ

- Исследовано влияние различных дамппинг вигглеров на равновесный эмиттанс пучка в накопительном кольце "КЕНДЛ". Показана возможность уменьшения эмиттанса до 2 раза. Найдены оптимальные условия для радиационного сжатия пучка. Исследованы влияния проектных вигглеров на динамическую апертуру в накопительном кольце "КЕНДЛ". Показано, что уменьшение динамической апертуры не превышает 15%.
- Исследована возможность генерации самоиндуцируемого лазера на свободных электронах на выходном пучке линейного ускорителя АРЕАЛ для

плоского и спирального ондулятора. Показано, что пиковая мощность когерентного излучения в 25 МВт достижима в частотной области 5 - 30 ТГц.

- Исследовано влияние цилиндрического волновода на излучение частиц в спиральном ондуляторе и показана возможность усиления основной возбуждаемой моды за счет перераспределения энергии излучения между модами волновода.
- Исследованы кильватерные поля для излучения частиц в спиральном ондуляторе с цилиндрическим волноводом. Впервые получены аналитические представления продольных кильватерных потенциалов и исследована модуляция энергии частиц в пучках с гауссовским и равномерным распределениями.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. B. Grigoryan, G. Amatuni, T. Vardanyan et al., Advanced research Electron Accelerator Laboratory based on Photocathode RF Gun, Proc. of Internat. Part. Accel. Conf., San Sebastian, Spain, pp 1066 – 1068, (2011)
2. T. Vardanyan, M. Ivanyan, V. Sahakyan, A. Tsakanian, G. Zanyan, Modal Analysis of Helical Undulator Radiation in Cylindrical Waveguide, Proc. of Internat. Part. Accel. Conf., Dresden, Germany, pp 1989 - 1991. (2014)
3. T. Vardanyan, M. Ivanyan, A. Tsakanian, L. Hovakimyan, Helical Undulator Radiation in Internally Coated Metallic Pipe, Proc. of Free Electron Lasers Conf., Basel, Switzerland, pp 26 – 28 (2014)
4. T. Vardanyan, V. Sahakyan, G. Amatuni, V. Tsakanov, et. al, ALPHA-The THz Radiation Source Based on AREAL, Proc. of Free Electron Lasers Conf., Basel, Switzerland, pp 561 – 563 (2014)
5. T. Vardanyan, M. Ivanyan, A. Tsakanian, The Wake Function and Beam Energy Modulation in a Helical Undulator with the Circular Waveguide, Armenian Journal of Physics, 8 (1). pp. 56-61. Yerevan, Armenia, (2015)
6. Т. Л. Варданян, Радиационное сжатие эмиттанта электронного пучка в накопительном кольце “КЕНДЛ” с помощью виттлер магнитов, Известия НАН Армении, Физика, т. 50, N1, с. 14-19 (2015)

ԱՄՓՈՓԱԳԻՐ

Էլեկտրոնային կուտակիչ օղակներում կարևորագույն խնդիրը մեծ պայծառությամբ ֆոտոնային փնջեր ստանալն է, որի համար անհրաժեշտ է ունենալ փոքր էմիտանսով էլեկտրոնային բանձրուկներ: Այս նպատակով ժամանակակից կուտակիչ օղակներում լայնորեն կիրառում են մարման վիզգլերները, որոնց բնութագրերի համապատասխան ընտրության դեպքում կարելի է հասնել էմիտանսի փոքրացման:

Ատենախոսության առաջին գլխում ուսումնասիրված է «ՔԵՆՂ» կուտակիչ օղակում էմիտանսի ռադիացիոն մարումը՝ օգտագործելով վիզգլեր մագնիսները, և հետազոտված է նախագծային ներդրվող սարքերի և մարման վիզգլերների ազդեցությունները փնջի դինամիկ բացվածքի վրա: Ցույց է տրված «ՔԵՆՂ» կուտակիչ օղակի հավասարակշիռ էմիտանսի միջև 40% փոքրացման ենարավորությունը, և առաջարկված է մարման վիզգլերի օպտիմալ պարամետրեր: Ուսումնասիրված է նախագծային ներդրվող սարքերի բացասական ազդեցությունը «ՔԵՆՂ» կուտակիչ օղակի դինամիկ բացվածքի վրա և առաջարկվել է էմիտանսի մարման համար վիզգլերների օպտիմալ համակարգ:

Վերջին տասնամյակում մեծ հետաքրքրություն առաջացրեց տերահերց ճառագայթումը, որը, ունենալով կիրառությունների լայն տիրույթ գիտության տարբեր ոլորտներում, բերեց այս աղբյուրների մեծ պահանջարկի:

Ատենախոսության երկրորդ գլխում ուսումնասիրված է ՏՀց տիրույթում ազատ էլեկտրոնների վրա լազերի (ԱԷԼ) ստեղծման ենարավորությունը՝ օգտագործելով «ԱՐԵԱԼ» գծային արագացուցչի փնջերը: Ուսումնասիրված է հարթ և պարուրաձև օնդուլյատորների դեպքերը: Ցույց է տրված, որ 10-50 մկմ ալիքի երկարությունների տիրույթում ենարավոր է ստանալ մինչև 25 ՄՎտ հզորությամբ կոհերենտ ճառագայթում:

Պարուրաձև օնդուլյատորները առանձնահատուկ տեղ են գրավում սինքրոտրոնային ճառագայթման աղբյուրներում և ԱԷԼ-ում շնորհիվ վերոնշյալ սարքավորումներում էլեկտրոնների ճառագայթման հատուկ բնութագրերի:

Ատենախոսության երրորդ գլխում ուսումնասիրված է գլանային ալիքատարի ազդեցությունը պարուրաձև օնդուլյատորի ճառագայթման վրա: Հաշված է գլանաձև ալիքատարերում պարուրաձև հետազոտվող շարժվող լիցքավորված մասնիկի ճառագայթած էլեկտրոնագնիսական ալիքների կոմպոնենտները: Ուսումնասիրված է հիմնական մոդայի գրգռման ենարավորությունը՝ կախված ալիքատարի և էլեկտրոնային փնջի պարամետրերից: Դուրս է բերված կիվատերային պոտենցիալների անալիտիկ տեսքը, որը թույլ է տալիս ուսումնասիրել ճառագայթման ազդեցությունը փնջի մասնիկների վրա:

Ուսումնասիրվել են Գաուսյան և համասեռ փնջերի էներգիայի մոդուլյացիան կիլվատերային դաշտերում:

Ատենախոսության արդյունքները կարող են օգտագործվել «ԲԵՆՊ» նախագծի էմիտանսի փոքրացման, գծային արագացուցիչների հիման վրա S2g ԱԷԼ-ի ստեղծման և պարուրաձև օնդուլյատորային ճառագայթման ուսումնասիրության և բարելավման համար:

SUMMARY

The achievement of high brilliance photon beams in advanced synchrotron light sources is one of the challenging issues to realize the full potential from insertion devices. For a high brightness radiation it is necessary to have a small emittance electron beam. One of the possible ways to lower beam emittance in storage rings is to install damping wigglers in dispersion-free straight sections in order to produce additional radiation damping.

In the first chapter of this thesis the effects of the damping wigglers and insertion devices on the electron beam horizontal emittance and the dynamical aperture of the CANDLE storage ring are investigated. It is shown that for the design double bend achromatic lattice of the ring, the maximum reduction of the horizontal emittance is achieved for the superconducting damping wiggler with 5.7 T magnetic field. The impact of the designed insertion devices and the damping wigglers on the dynamical aperture of the ring are studied. It is shown that the presence of conventional insertion devices aimed for the generation of high brightness synchrotron radiation, decreases the storage ring dynamical aperture by less than 15 % in horizontal and vertical planes. It is shown that the most optimal option from the emittance reduction and the beam dynamics point of view is the damping wiggler with the magnetic field of 2.5 T and period length of 8 cm.

In the past decade the THz radiation has been of great scientific interest with a wide range of potential applications in the field of life, materials and environmental sciences.

In the second chapter of the thesis the possibilities to produce coherent THz radiation based on Self-Amplified Spontaneous Emission (SASE) Free electron laser principle have been studied. The cases of planar and spiral undulators have been studied. The results show that by using electron beam of AREAL linear accelerator a coherent radiation can be achieved at 10-30 THz with a pulse power of about 20 MW.

The helical undulators have an essential value in advanced synchrotron light sources and free electron lasers by producing circular polarized intense radiation which has a number of important applications. The last chapter of the thesis is devoted to the impact of the circular waveguide on the helical undulator radiation formation. Using the modal expansion technique, the explicit expressions for the components of excited electromagnetic fields in circular waveguide are determined. The conditions for the propagating modes are analyzed. It is shown that under certain conditions (the particle energy and helix radius) the excited mode can be filtrated and the selected waveguide modes can be enhanced. This energy redistribution results on the undulator radiation

spectrum change to sharp peaks corresponding to discrete frequencies of propagating modes. The analytical expression for the point charge wake potential is obtained. The longitudinal wake potential defines the energy redistribution between the particles of the beam. The induced energy spreads for the electron beams are investigated for the single and multi-mode regime. Finally, the impact of the waveguide walls finite conductivity on the helical undulator radiation is studied both analytically and numerically. The results are compared with the case of waveguide with perfectly conducting walls.

The results of the thesis can be used for the reduction of the beam emittance in CANDLE storage ring, generation of high power short pulse coherent THz radiation in low energy linear accelerators, optimization of the helical undulator radiation in waveguide and evaluation of radiation impact to beam dynamics.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'M. J.', written in a cursive style.