

✓
ЕРЕВАНСКИЙ ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

ВАРДАНЯН

Левон Агасиевич

ВЛИЯНИЕ МНОГОКРАТНОГО РАССЕЯНИЯ И ПОГЛОЩЕНИЯ
НА ИЗЛУЧЕНИЕ ЧАСТИЦ ВЫСОКИХ ЭНЕРГИЙ В НЕОДНОРОДНЫХ СРЕДАХ

(Специальность 01.04.02 - теоретическая и математическая физика)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Тех.редактор А.С.Абрамян

Заказ 528

ВФ-05489

Тираж 170

Формат издания 60x84/16

Подписано к печати 23.10.81г.

Издано Отделом научно-технической информации
Ереванского физического института, Ереван-36, пер.Маркаряна 2

Ереван - 1981

Работа выполнена в Ереванском физическом институте.

Научный руководитель - доктор физико-математических наук,
ст. науч. сотрудник Ян Ши.

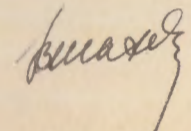
Официальные оппоненты - доктор физико-математических наук,
ст. науч. сотрудник А.А. Варфоломеев
(ИАЭ им. И.В. Курчатова);
кандидат физико-математических наук,
доцент Н.А. Корхмязян (Армянский
педагогический институт им. Х.Абовяна).

Ведущая организация - Московский инженерно-физический
институт

Защита диссертации состоится "24" ноября 1981 г.
в 14-00 час. на заседании Специализированного совета Д 034.01.03
по присуждению ученой степени доктора физико-математических наук
при Ереванском физическом институте (375036, г. Ереван, ул. Марка-
ряна, 2).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕФИ.

Автореферат разослан "22" октября 1981 г.

Ученый секретарь
Специализированного совета,
канд. физ.-мат. наук
 (В.А. Шахбазян)

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. В настоящее время вопросы взаимодействия заряженных частиц высоких энергий с веществом, в частности, при прохождении через неоднородные среды, представляют значительный научный и практический интерес. Актуальность этой проблемы обусловлена, с одной стороны, развитием теоретических исследований и, с другой, - применением этих явлений для изучения свойств высокоэнергетичных заряженных частиц и структуры вещества.

Явление переходного излучения, возникающего при пролете ультрарелятивистских заряженных частиц через границу раздела сред с различными электродинамическими характеристиками, теоретически было предсказано Гинзбургом и Франком. В 1959 году Гарибяном и Барсуковым было открыто рентгеновское переходное излучение (РПИ), которое обладает линейной зависимостью интенсивности от лоренц-фактора заряда γ . Это важное свойство РПИ явилось основой для дальнейшего интенсивного развития теории переходного излучения и экспериментальных исследований как для изучения характеристик самого РПИ, так и для создания детекторов, используемых для регистрации и идентификации частиц высоких энергий на современных ускорителях и в космических лучах.

При прохождении ультрарелятивистских заряженных частиц через неоднородную (с границами раздела) среду, кроме обычного переходного излучения, возникает также тормозное излучение, обусловленное многократным кулоновским рассеянием заряженных частиц на атомах вещества среды. При рассмотрении таких процессов

необходимо также учитывать поглощение испущенных квантов в веществе. Такая постановка вопроса – решение задачи о РПИ, генерируемом в конечном слое (пластине) или в слоистых средах (стопке пластин), с учетом основных эффектов: многократного рассеяния заряда и поглощения излучения в веществе – представляется актуальной как с точки зрения более полного теоретического описания этого физического явления, так и из-за максимального приближения указанных задач к экспериментально реализуемым условиям.

Цель работы. Целью диссертационной работы является:

1. Построение теории и детальное рассмотрение свойств полного излучения и краевого (граничного) эффекта в пластине вещества при пролете через нее ультрарелятивистского заряда с учетом многократного рассеяния и поглощающей способности вещества.

2. Исследование явления интерференции переходного и тормозного излучений, возникающих при учете многократного рассеяния в стопке из двух поглощающих пластин с вакуумным отсеком.

3. Сравнение экспериментальных данных по РПИ электронов высоких энергий с результатами, полученными по теории, учитывающей влияние многократного рассеяния на образование излучения.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Получены и проанализированы формулы для частотно-углового и частотного распределений полного (РПИ и тормозного) излучений, образуемого в пластине вещества с учетом многократного рассеяния и поглощения излучения.

2. Определено понятие краевого эффекта в поглощающей пластине и выяснено влияние многократного рассеяния на излучение ультрарелятивистских заряженных частиц (по сравнению с обычным РПИ), приводящее к сглаживанию осцилляций в частотном спектре

краевого эффекта и к обогащению этого спектра жесткими частотами при больших значениях γ -фактора заряда.

3. Найдены аналитические выражения для частотно-углового и частотного распределений интенсивности полного излучения и краевого эффекта, генерируемых в стопке из двух поглощающих пластин, и выявлена роль интерференции излучений от отдельных пластин в общей картине формирования квантов.

4. Проведено сравнение экспериментальных данных по РПИ, испущенному в сверхпроводящих оловянных гранулах, с численными результатами теории, и сделан вывод о невозможности объяснить наблюдаемую квадратичную зависимость поглощенной энергии РПИ от γ -фактора пролетающих электронов влиянием многократного рассеяния в гранулах.

5. Произведен численный расчет по полученным теоретическим формулам, результаты которого сравниваются с данными экспериментального исследования РПИ, образуемого в тяжелых (оловянных и медных) радиаторах и отмечено лучшее согласие с теорией, учитывающей влияние многократного рассеяния, а также экспериментально подтверждено явление сглаживания в спектре переходного излучения с учетом многократного рассеяния.

Практическая ценность. Результаты, полученные в диссертации, могут найти практические применения в экспериментальных исследованиях по изучению свойств РПИ, а также при разработке новых способов регистрации и идентификации элементарных частиц высоких энергий на ускорителях и в экспериментах по космическим лучам.

Теоретически предсказанное явление сглаживания интерференционных осцилляций в спектре РПИ при учете многократного рассеяния уже подтверждено экспериментально, а такое интересное свойст-

но краевого эффекта (связанное с обогащением спектра РПИ в пластине или стопке пластин новыми, более жесткими квантами), как квадратичная зависимость интенсивности от лоренц-фактора пролетающей частицы в области больших γ , может быть использовано в дальнейших экспериментах по идентификации заряженных частиц высоких энергий. В связи с этим в диссертационной работе приведены некоторые рекомендации по поводу измерения величины краевого эффекта. Кроме того, в диссертации помещена программа численного расчета, с помощью которой можно рассчитать частотные спектры как переходного и тормозного излучений, так и краевого эффекта для поглощающей пластины (и стопки из двух пластин), что, в принципе, может оказаться полезным для проведения количественного сопоставления с данными по РПИ, полученными экспериментально.

Апробация работы. Результаты работ, положенных в основу диссертации, докладывались и обсуждались на Международном симпозиуме по переходному излучению частиц высоких энергий (Ереван, 1977), на IU конференции молодых ученых ЕФИ (Нор-Амберд, 1979), а также на семинарах ЕФИ.

Публикации. По теме диссертации опубликовано восемь статей [1-8].

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, приложения и списка литературы, изложена на 142 страницах машинописного текста и содержит 25 рисунков и 101 библиографическую ссылку.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дан краткий обзор предшествующих работ по теории переходного и тормозного излучений с учетом многократного

рассеяния и поглощения. Сформулирована постановка задачи и цель диссертационной работы, приведено ее краткое содержание.

Как известно, в электромагнитных взаимодействиях заряженных частиц высоких энергий влияние среды приводит к следующим основным эффектам: многократному кулоновскому рассеянию частиц на атомах вещества, поляризации среды и поглощению излученных γ -квантов. Впервые влияние многократного рассеяния на образование тормозного излучения рассматривалось Ландау и Померанчуком в 1953 году, и было показано, что это влияние сказывается в подавлении обычного тормозного излучения Бете-Гайтлера. Впоследствии Мигдалом, а затем и Гольдманом, была построена точная количественная теория этого явления. Учет поляризации среды дан Тер-Микаеляном, а влияние поглощающей способности среды (из-за образования пар) на процесс формирования тормозных квантов исследовалось в работах Ландау и Померанчука, Галицкого и Гуревича, Терновского, Калашникова и Рязанова и др.

При прохождении ультрарелятивистского заряда через неоднородные среды, как хорошо известно, возникает также переходное излучение, и общую задачу о полном излучении, генерируемом в подобных средах, необходимо решать с учетом всех перечисленных эффектов. Этому вопросу посвящены работы Гарибяна и Померанчука, Пафомова, Тер-Микаеляна, Варфоломеева, Базылева и Жеваго, Барышевского, Грубича и Нго Дань Ньана, Гарибяна и Ян Ши и др. Отметим, что почти во всех этих работах сделаны попытки выделить из полного излучения конечную часть, обусловленную наличием границ среды (краевой эффект). Гарибяном и Ян Ши в 1976 году предложено определение краевого эффекта для непоглощающей пластины вещества, основанное на выделении тормозного излучения, образованного в бесконечной среде на длине пути, равной толщине

пластины. Затем авторы обобщили это понятие для произвольной стопки, состоящей из N изолированных пластин с вакуумными отсеками между ними.

В первой главе диссертации рассмотрена задача об излучении, образуемом в конечном слое вещества при прохождении через нее ультрарелятивистского заряда (например, электрона), с учетом многократного рассеяния.

В §1 определяется частотно-угловое распределение интенсивности полного излучения, возникающего в диэлектрической пластине толщиной a , расположенной в вакууме. Поглощающая способность вещества учтена, как обычно, введением мнимой части диэлектрической проницаемости вещества в рентгеновской области частот: $\varepsilon(\omega) = 1 - \omega_0^2/\omega^2 + i\mu c/\omega$, где ω_0 - плазменная частота, а $\mu(\omega)$ - линейный коэффициент поглощения.

Из решения кинетического уравнения типа Фоккера-Планка (с помощью методики Мигдала-Гольдмана) для поглощающей пластины найдены величины фурье-компонент условных вероятностей, связывающих начальные значения координат и скоростей частицы с их значениями в последующие моменты времени. После усреднения по всевозможным траекториям заряда получена формула для частотно-углового распределения средней интенсивности излучения [1].

Полученное в §1 общее выражение проанализировано в §2 в двух частных случаях: 1) когда толщина пластины намного меньше зоны формирования тормозного излучения и, кроме того, среднеквадратичный угол многократного рассеяния на длине a намного меньше квадрата характерного угла излучения:

$$a \ll z_{\text{терм}}, \quad \langle \theta^2 \rangle_a \ll \gamma^{-2}, \quad (I)$$

где $z_{\text{терм}} = c\gamma/\sqrt{\omega_0 q_0}$, $\langle \theta^2 \rangle_a = 4q_0 a \gamma^{-2}/v$, а q_0 - константа многократного рассеяния.

и 2) когда пластину можно считать достаточно толстой:

$$a \gg z_{\text{терм}}. \quad (2)$$

При выполнении условия (1) тормозное излучение не успевает сформироваться в достаточной степени, поэтому в полном излучении в определенной области частот преобладает переходный механизм образования квантов. Для этого случая получено выражение, состоящее (в главных членах) из частотно-углового распределения обычного РПИ и тормозного излучения с учетом поляризации [1].

Для толстой пластины, когда имеет место условие (2), найден вид частотно-углового распределения тормозного излучения, испускаемого в поглощающей пластине с длины пути, равной эффективной толщине пластины $a_{\text{эфф}} = (1 - \exp(-\mu a))/\mu$.

В этом же параграфе произведено разбиение формулы для средней интенсивности полного излучения в случае двух поляризаций: параллельной, в направлении, определяемом углом излучения θ , и перпендикулярной, расположенной в нормальной плоскости. Эти выражения сравниваются с соответствующими формулами других авторов.

В §3 проведено интегрирование по углу излучения и получено выражение для частотного спектра полного излучения, образуемого в поглощающей пластине [1,2]. Это выражение анализируется в случае слабого поглощения в пластине: $\mu a \ll 1$ и для сильно поглощающей пластины: $\exp(-\mu a) \ll 1$. Последнее условие означает, что излучения, образованные на границе среда-вакуум, практически полностью поглощаются в веществе, т.е. пластина ведет себя как полубесконечная среда, из которой вылетает заряд.

В этом параграфе приведены графики, иллюстрирующие зависимость спектральной интенсивности полного излучения от толщины пластины и частотные спектры полного и переходного излучений,

образованных в вольфрамовой пластине с разными толщинами и для различных значений γ -фактора заряда.

В §4 найдено выражение для частотного распределения интенсивности тормозного излучения в поглощающей пластине:

$$W^{\text{торм}}(\omega) = \frac{\alpha_{\text{эфф}}}{z_{\text{торм}}} W_M(\omega), \quad (3)$$

где $z_{\text{торм}}^{-1} W_M(\omega)$ - интенсивность тормозного излучения, испускаемого в безграничной среде (по Мигдалу), но с учетом конечного поглощения в веществе.

Величина краевого эффекта определена как разность [2,3]:

$$W_{1,a}^{\text{к.э.}}(\omega) = W_{1,a}^{\text{пол}}(\omega) - W^{\text{торм}}(\omega), \quad (4)$$

где $W_{1,a}^{\text{пол}}(\omega)$ - частотное распределение средней интенсивности полного излучения в пластине толщиной a , а $W^{\text{торм}}(\omega)$ дается формулой (3).

Таким образом определенная величина $W_{1,a}^{\text{к.э.}}(\omega)$ является полным краевым эффектом и содержит как часть полного излучения, обусловленную переходом частицы через границу среда-вакуум, так и граничный эффект в тормозном излучении. Отметим, что, как следует из определения (4), при пренебрежении многократным рассеянием заряда ($q_0 \rightarrow 0$) тормозное излучение не возникает и краевой эффект представляет собой обычное переходное излучение (в нашем рассмотрении РПИ), испущенное из слоя вещества. Следовательно, в общем случае краевой эффект можно считать "переходным излучением" с учетом многократного рассеяния. Необходимо только иметь в виду, что в использовании такого названия допускается известная условность, так как при достаточно больших частотах величина краевого эффекта может стать отрицательной, хотя интенсивность полного излучения, разумеется, всегда остается положительной.

В этом параграфе проведено детальное исследование выражения для краевого эффекта (4) в различных случаях [2,3]. В частности, получены формулы для $W_{1,a}^{\text{к.э.}}(\omega)$ для слабо и сильно поглощающей пластины. Рассмотрены предельные случаи различных соотношений между зонами формирования переходного $z_{\text{вещ}} = \mathcal{T}c/\omega q$ ($q = \gamma^{-2} + 1 - \xi$) и тормозного $z_{\text{торм}}$ излучений. Показано, что при выполнении условия

$$|z_{\text{вещ}}| \ll z_{\text{торм}} \quad (5)$$

величину краевого эффекта можно представить в виде

$$W_{1,a}^{\text{к.э.}}(\omega) = W_{1,a}^{\text{пер}}(\omega) + W^{\text{инт}}(\omega), \quad (6)$$

где $W_{1,a}^{\text{пер}}(\omega)$ - интенсивность обычного РПИ (без учета многократного рассеяния), а второй член, исчезающий при $q_0 \rightarrow 0$, описывает влияние многократного рассеяния на переходное излучение.

Анализируются случаи $a \gg |z_{\text{вещ}}|$ и $a \ll |z_{\text{вещ}}|$ в различных областях частот и получены явные выражения для $W_{1,a}^{\text{пер}}(\omega)$ и $W^{\text{инт}}(\omega)$.

Когда же имеет место условие

$$|z_{\text{вещ}}| \gg z_{\text{торм}}, \quad (7)$$

то поведение величины краевого эффекта, оказывается, существенным образом зависит от отношения среднеквадратичного угла многократного рассеяния к квадрату характерного угла излучения. В двух предельных случаях $\langle \theta^2 \rangle_a \ll \gamma^{-2}$ и $\langle \theta^2 \rangle_a \gg \gamma^{-2}$ найден вид $W_{1,a}^{\text{к.э.}}(\omega)$ и выявлена его связь с имеющимися формулами других авторов.

В §5 главы I приведены физические соображения о явлении обогащения спектра краевого эффекта [2,3]. Как известно,

кривые $|z_{\text{вещ}}(\omega)|$ и $z_{\text{торн}}(\omega)$ пересекаются в точках ω_1 и ω_2 , определяемых уравнением $|z_{\text{вещ}}(\omega)| = z_{\text{торн}}(\omega)$. В том случае, когда $\omega_1 \ll \omega_{\text{зр}} \ll \omega_2$ (где $\omega_{\text{зр}} = \omega_0 \gamma$ - граничная частота переходного излучения), т.е. при $\gamma > \gamma_{\text{кр}}$ ($\gamma_{\text{кр}} \approx \omega_0 / q_0$ для электрона - критическое значение лоренц-фактора пролетающего заряда), и если поглощение не мало, имеем:

$$\omega_1 \sim (\mu c \gamma)^2 / 4q_0, \quad \omega_2 \approx q_0 \gamma^2. \quad (8)$$

Из найденного таким образом верхнего предельного значения можно заключить, что спектр краевого эффекта, проинтегрированный во всем интервале частот (ω_1, ω_2) также должен иметь квадратичную γ -зависимость.

В этом параграфе приведены результаты численного расчета [2,4], выполненного с помощью программы, приведенной в приложении, для частотных спектров полного и переходного излучений, и краевого эффекта (см. рис.1).

В конце параграфа показано, что при выполнении условия

$$a \gg \min \{ z_{\text{торн}}, |z_{\text{вещ}}| \} \quad (9)$$

величина краевого эффекта не зависит от толщины пластины a , и указано, что условие (9) является обобщением аналогичного требования для обычного РПИ на случай учета многократного рассеяния.

Вторая глава диссертации посвящена рассмотрению интерференционных эффектов, возникающих в стопке, состоящей из двух поглощающих пластин с учетом многократного рассеяния.

В §6 приведено решение задачи об определении частотно-углового распределения средней интенсивности полного излучения [3,5], аналогично тому, как это было сделано в §1.

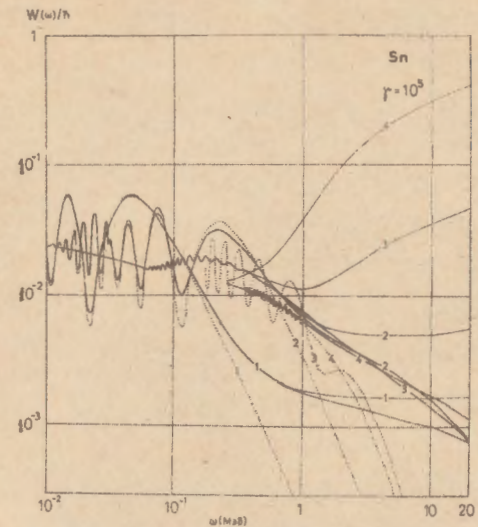


Рис.1. Спектральная интенсивность полного (тонкие сплошные кривые) и переходного (точечные кривые) излучений и краевого эффекта (толстые сплошные кривые) для оловянной пластины и электрона с лоренц-фактором $\gamma = 10^5$. Цифры на кривых указывают на различные значения толщины пластины: 1 - 20 мкм; 2 - 100 мкм; 3 - 10^3 мкм; 4 - 10^4 мкм.

Показано, что если устремить ширину вакуумного отсека к нулю в общем выражении для частотно-углового распределения, то часть слагаемых исчезает, а сумма остальных членов дает аналогичную формулу для одной поглощающей пластины с удвоенной толщиной, что и следовало ожидать. При "выключении" же многократного рассеяния ($q_0 \rightarrow 0$) получается выражение для частотно-углового распределения интенсивности РПИ в случае

двух пластин с учетом поглощения.

В §7 получено частотное распределение полного излучения, записываемое в виде [3,5]:

$$W_{2,a}^{пол}(\omega) = N_{эфф} W_{1,a}^{пол}(\omega) + \exp(-\mu a) W^{инт}(\omega), \quad (10)$$

где $W_{1,a}^{пол}(\omega)$ - средняя интенсивность полного излучения, образованного в пластине толщиной a , а член $W^{инт}(\omega)$ описывает интерференцию излучений, испущенных из разных пластин рассматриваемой стопки. Величина $N_{эфф}$ представляет собой эффективное число пластин в стопке и в нашем случае равняется: $N_{эфф} = 1 + \exp(-\mu a)$.

В этом параграфе, исходя из обобщения понятия краевого эффекта на случай стопки из N пластин, определена величина:

$$W_{2,a}^{к.э.}(\omega) = W_{2,a}^{пол}(\omega) - N_{эфф} W^{торм}(\omega), \quad (11)$$

Комбинируя (6) и (11), получаем:

$$W_{2,a}^{к.э.}(\omega) = N_{эфф} W_{1,a}^{к.э.}(\omega) + \exp(-\mu a) W^{инт}(\omega). \quad (12)$$

Когда выполняется условие

$$b \gg c\gamma^2/\omega \quad (13)$$

(пластины удалены на расстояние, намного превышающее зону формирования переходного излучения в вакууме: $z_{бак} = \pi c/\omega\gamma^2$), член $W^{инт}(\omega)$ быстро осциллирует и - после усреднения по небольшому интервалу частот - не вносит вклада в величину краевого эффекта; тогда имеем: $W_{2,a}^{к.э.}(\omega) = N_{эфф} W_{1,a}^{к.э.}(\omega)$, т.е. интенсивности излучений от отдельных пластин стопки независимым образом складываются.

Из выражения (12) следует, что детальное рассмотрение

краевого эффекта для поглощающей пластины, проведенное в §4, в некотором переносится и на стопку из двух пластин. Необходимо только проанализировать поведение второго - интерференционного - члена в (12).

В §8 подробно исследуется выражение для члена $W^{инт}(\omega)$, ответственного за интерференцию излучений, испускаемых из разных пластин и в вакуумном отсеке рассматриваемой стопки. Рассмотрены случаи различных соотношений между зонами формирования переходного ($z_{вещ}$ и $z_{бак}$) и тормозного $z_{торм}$ излучений и величиной вакуумного отсека b и толщиной пластины a . Показано, в частности, что в области $|z_{вещ}| \gg z_{торм}$, интересной с точки зрения выяснения роли многократного рассеяния в процессе формирования квантов, доминирующим является тормозной механизм образования излучения и имеет место значительная интерференция излучений [5].

В конце этого параграфа приведены результаты численного расчета, произведенного по программе, помещенной в приложении (см. рис.2).

В заключение главы II даны некоторые рекомендации по экспериментальному определению величины краевого эффекта в пластине и стопке пластин, поскольку непосредственно измеряемым в опыте всегда является полная интенсивность излучения.

В третьей главе проведено сравнение результатов теоретического рассмотрения влияния многократного рассеяния на образование РПИ с данными некоторых экспериментальных работ.

В §9 кратко изложена идея эксперимента Друкье, Яаня и др., заключающаяся в использовании оловянных гранул, находящихся в перегретом сверхпроводящем состоянии, в качестве радиатора и детектора РПИ. Полученное в этой работе поведение кривой звя-

симости (квадратичный рост) поглощенной энергии излучения, определяемой изменением резонансной частоты контура, от γ -фактора пролетающих электронов, интерпретировалось указанными авторами как результат влияния многократного рассеяния электронов в оловянных гранулах.

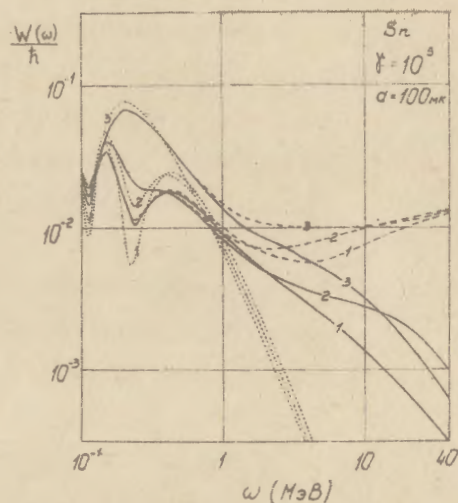


Рис.2. Спектральная интенсивность полного (сплошные кривые) и переходного (точечные кривые) излучений и краевого эффекта (штриховые кривые), образуемых в стопке из двух оловянных пластин толщиной $a = 100$ мкм электроном с лоренц-фактором $\gamma = 10^5$. Цифры на кривых указывают на различные значения величины вакуумного отсека b : 1 - 1 мкм; 2 - 100 мкм; 3 - 10⁴ мкм.

В этом параграфе показано, что теоретическую задачу, соответствующую условиям и параметрам указанного эксперимента, можно решить с помощью теории РПИ, учитывающей многократное рассеяние, развитой в главе I. Выполнен численный расчет по

теоретическим формулам, результаты которого приведены в виде кривых для частотных спектров излучений, образуемых в оловянной пластине, и зависимости полной энергии РПИ от значения γ -фактора электрона [6]. Последняя зависимость показана также для краевого эффекта в области частот $(10 + q\gamma^2)$ кэВ.

Как следует из расчета, обнаруженная экспериментальным путем квадратичная зависимость не может быть объяснена влиянием многократного рассеяния. При этом отмечается, что в области больших значений γ -факторов ($\gamma > \gamma_{кр}$; для олова $\gamma_{кр} \sim 1,6 \cdot 10^4$) спектр краевого эффекта квадратично возрастает γ^2 . Однако, в обсуждаемом эксперименте, как обычно, измерялась интенсивность полного излучения, а не краевой эффект.

В §10 приведены результаты экспериментальных исследований РПИ, образуемого в радиаторах из оловянных и медных фольг, полученные группой Лорикаяна, Маркаряна и др. на Ереванском ускорителе.

Как известно, корректное сравнение экспериментальных и теоретически рассчитанных значений следует проводить, исходя из теории РПИ, генерируемого в стопке поглощающих пластин из вещества радиатора с учетом многократного рассеяния и поглощения. Однако, строгая теория влияния многократного рассеяния на РПИ имеется лишь для изолированной пластины. С другой стороны, в §7 было показано, что при выполнении условия (13) краевой эффект (и полная интенсивность излучения) в этом случае выражается через краевой эффект для одной пластины, умноженный на эффективное число пластин в стопке. Это обстоятельство позволяет применить теоретические результаты главы I в качестве исходных для выполнения численных расчетов.

В этом параграфе экспериментальные точки, полученные

указанной группой, сопоставляются с численными значениями, вычисленными нами на ЭВМ по программе, приведенной в приложении, по теории без учета (обычная теория РПИ) и с учетом многократного рассеяния электронов в радиаторе [7,8]. Отмечено, что последняя теория дает лучшее согласие с данными эксперимента, а также подтверждено теоретически предсказанное сглаживание осцилляций в спектре переходного излучения с учетом многократного рассеяния.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертационной работе и выносимые на защиту.

В конце диссертации, в приложении, приведена программа для ЭВМ [5], по которой выполнялись численные расчеты.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Получено аналитическое выражение для частотно-углового распределения средней интенсивности полного излучения, образуемого при прохождении ультрарелятивистского заряда через пластину вещества произвольной толщины, расположенную в вакууме, с учетом многократного рассеяния заряда и поглощающей способности вещества пластины.

2. Проанализирована формула для частотно-углового распределения в двух предельных случаях: когда пластина является тонкой и толстой. При выполнении последнего условия из интенсивности полного излучения выделена часть, пропорциональная тормозному излучению, испускаемому в поглощающей среде (без учета границ) с длины пути, равной эффективной толщине пластины.

Приведены выражения, соответствующие двум поляризациям

частотно-углового распределения: параллельной, в направлении, определяемом углом излучения и перпендикулярной, расположенной в нормальной плоскости.

3. После интегрирования по углу излучения получена общая формула для частотного распределения интенсивности полного излучения, образованного в поглощающей пластине. Вид этой формулы дан также в случае слабо и сильно поглощающей пластины.

4. Определено понятие краевого эффекта для пластины с поглощением, т.е. показано, что из спектральной интенсивности полного излучения можно выделить тормозное излучение (по Мигдалу), генерируемое в среде без учета границ с длины пути, равной эффективной толщине пластины и часть, обусловленную наличием границ пластины (краевой эффект). Подробно исследован частотный спектр краевого эффекта в наиболее важных предельных случаях. Выяснено также, что при значениях толщины пластины, намного превышающих зоны формирования переходного (в веществе) и тормозного излучений, в частотном спектре краевого эффекта отсутствует зависимость от толщины.

5. Из общего анализа и результатов численного расчета найдено, что влияние многократного рассеяния приводит к существенному видоизменению спектра краевого эффекта. Из-за отклонения заряда от равномерной и прямолинейной траектории в спектре краевого эффекта происходит сглаживание интерференционных осцилляций по сравнению со спектром обычного РПИ. Степень этого сглаживания уменьшается при возрастании значения лоренц-фактора заряда.

6. Показано, что в результате возникновения тормозного излучения, обусловленного многократным рассеянием частицы на атомах среды, в частотном спектре краевого эффекта имеет место

своеобразное обогащение жесткими квантами при больших значениях γ -фактора частицы. Это явление приводит к квадратичной зависимости величины краевого эффекта, проинтегрированной по всему частотному интервалу вплоть до частот $\sim q_0 \gamma^2$, от лоренц-фактора частицы. Отмечено, что в "заграничной" области частот величина краевого эффекта может стать отрицательной. Предложено качественное объяснение явления обогащения спектра краевого эффекта.

7. Для выявления роли интерференции излучений от отдельных пластин точно решена задача в случае стопки, состоящей из двух поглощающих пластин с учетом многократного рассеяния, и найдены общие формулы для частотно-углового и частотного распределений средней интенсивности полного излучения.

8. Получено выражение для частотного распределения краевого эффекта в рассматриваемой задаче, которое состоит из суммы краевого эффекта в пластине, умноженного на эффективное число пластин в стопке и интерференционного члена. Вид интерференционного члена детально исследован для различных соотношений между величиной вакуумного отсека и зонами формирования переходного и тормозного излучений. Выяснено, что в области, где доминирующим в общем процессе образования квантов является тормозной механизм, картина интерференции существенно зависит как от величины $x_{\text{торм}}$, так и от $x_{\text{бок}}$.

9. Путем сопоставления экспериментальных данных с теоретическим расчетом сделан вывод о невозможности объяснения квадратичной зависимости поглощенной энергии РПИ от γ -фактора электронов, обнаруженной в эксперименте с перегретыми сверхпроводящими гранулами, влиянием многократного рассеяния электронов в оловянных гранулах.

10. Проведено сравнение результатов экспериментальных исследований РПИ в радиаторах из тяжелых (оловянных и медных) фольг с численными расчетами, выполненными по теории, учитывающей влияние многократного рассеяния на образование излучения. Получено лучшее согласие экспериментальных точек с теоретически рассчитанными по сравнению с обычной теорией РПИ. Показано, что на экспериментальных спектрах также видны явления сглаживания в спектре переходного излучения с учетом многократного рассеяния. Для полного числа квантов РПИ экспериментальные и теоретические данные дают линейную зависимость от энергии пролетающих электронов.

ПУБЛИКАЦИИ

1. Варданян Л.А., Гарибян Г.М., Ян Ши. Излучение ультрарелятивистского заряда в поглощающей пластине с учетом многократного рассеяния. - Изв. АН Арм. ССР, Физика, 1976, т. II, № 5, с. 329-339.
2. Варданян Л.А., Гарибян Г.М., Ян Ши. Исследование краевого эффекта в пластине с учетом поглощения. - Изв. АН Арм. ССР, Физика, 1979, т. I4, № 6, с. 383-394; Труды IY конф. мол. ученых ЕФИ, Ереван, 1980, с. II7-126.
3. Vardanian L.A., Yang C. The Influence of the Multiple Scattering on the X-Ray Transition Radiation in Plates. - Rad. Eff., 1981, V. , No. , p.
4. Avakian A.L., Garibian G.M., Vardanian L.A., Yang C. Comments on the Calculation of X-Ray Transition Radiation Yield in a Stack of Plates. - Phys. Rev., 1977, v. D16, No. 5, p. 1596-1597.

5. Варданян Л.А., Ян Ши. Полное излучение и краевой эффект в двух поглощающих пластинах.-Ереван,1980.- 45 с. (Препринт/Ереванский физич. ин-т.: ЕФИ-429(36)); Труды IV конф. мол. ученых ЕФИ, Ереван, 1980, с.126-130.
6. Варданян Л.А., Гарибян Г.М., Ян Ши. Влияние многократного рассеяния на образование излучения в сверхпроводящих гранулах.-Труды межд.симп. по перех. изл. частиц выс.энергий, Ереван,1977, с.374-381; Scientific Report EFI-205(51), 1976.-10 в.
7. Авакян А.Л., Астабатьян Р.А., Варданян Л.А., Григорян К.Р., Лорикян М.П., Маркарян К.Ж. Исследование рентгеновского переходного излучения в тяжелых радиаторах.-Труды IV конф.мол. ученых ЕФИ, Ереван, 1980, с.131-134.
8. Авакян А.Л., Астабатьян Р.А., Варданян Л.А., Григорян К.Р., Лорикян М.П., Маркарян К.Ж. Исследование рентгеновского переходного излучения в оловянных радиаторах.-ЖЭТФ, 1980, т.78, № 3, с.936-940.