

На правах рукописи

ДОЛЖИН Максим Валентинович

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГАРМОНИК СИНХРОТРОННОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ КЛАССИЧЕСКИМИ И КВАНТОВЫМИ МЕТОДАМИ

Специальность 01.04.02 – теоретическая физика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Томск – 2007

Работа выполнена на кафедре квантовой теории поля физического факультета Томского государственного университета

Научный руководитель: заведующий кафедрой квантовой теории поля Томского государственного университета
доктор физико – математических наук
профессор Багров Владислав Гаврилович.

Официальные оппоненты: заведующий кафедрой высшей математики и математической физики Томского политехнического университета
доктор физико – математических наук
профессор Трифонов Андрей Юрьевич

проректор по международным связям
Томского государственного педагогического университета доктор физико – математических наук профессор Эпш Владимир Яковлевич

Ведущая организация: Институт оптики атмосферы СО РАН

Защита состоится 31 мая 2007 г. в 14 ч. 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 212.267.07 в Томском государственном университете, по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке Томского государственного университета.

Автореферат разослан _____ апреля 2007 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор физико – математических наук

Ивонин И. В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Теория синхротронного излучения (СИ) разрабатывалась на протяжении всего предыдущего столетия. За это время созданы и прошли проверку классическая и квантовая теории. На основании этих теоретических результатов проектируются и создаются наиболее мощные источники СИ. В связи с постоянным расширением областей применения СИ в экспериментальной физике и современной технике и широким распространением источников синхротронного излучения дальнейшее развитие теории СИ и обнаружение его новых свойств продолжает оставаться весьма актуальной задачей. Благодаря уникальным свойствам синхротронного излучения (непрерывный спектр, большая интенсивность, высокая степень поляризации) найдены его применения в физике высоких энергий, в биологии (исследование структуры молекул ДНК), в химии (наблюдения развития реакций), в экологии, в медицине (фильтрация крови), в спектроскопии твердого тела, в геологии, в микроэлектронике и т. д. В последние годы удалось теоретически предсказать ряд новых свойств СИ, неизвестных ранее и допускающих возможность проверки средствами современного эксперимента.

Изложению части новых теоретических результатов, в получении которых я принимал участие, посвящена настоящая диссертация.

Цель работы и задачи исследования:

- * провести численное исследование углового распределения мощности различных гармоник синхротронного излучения на основании точных квантовомеханических и классических выражений;
- * изучить качественно явление деконцентрации мощности углового распределения отдельных гармоник с увеличением энергии частиц и найти точные количественные характеристики этого явления;
- * дать сравнительный анализ спектрально – углового распределения СИ, вычисленного по классической и квантовой теории, для различных поляризаций;
- * найти на основании классической теории парциальные вклады различных гармоник в полную мощность СИ и проанализировать их зависимость от энергии частиц;

- * провести в рамках классической теории полное исследование эволюции углового распределения круговой поляризации СИ с изменением энергии частиц.
- * методами квантовой теории провести аналитическое и численное исследование влияния спина на мощность различных компонент поляризации синхротронного излучения для электрона.

Методы исследования Для исследования используются методы, разработанные в квантовой и классической теории поля применительно к задаче об излучении частицы в постоянном магнитном поле. Используются точные решения уравнений Дирака и Клейна – Гордона для спинорных и бесспиновых частиц соответственно.

Научная новизна. В работе получены следующие новые результаты.

С помощью специально введенной функции произведено исследование парциальных вкладов отдельных гармоник в мощность синхротронного излучения. Рассмотрено нерелятивистское приближение и ультрарелятивистский предел этой функции. Кроме того установлено, что она имеет максимум в распределении по энергии, который существенно отличается от того, при котором максимальным является соответствующее слагаемое данной гармоники в полной мощности излучения.

Введены специальные функции для исследования углового распределения круговой поляризации мощности СИ. Исправлено ранее известное с ошибкой значение числового коэффициента, характеризующего угол отклонения максимума углового распределения круговой поляризации от плоскости орбиты. Установлено, что степень круговой поляризации в верхней или нижней полуплоскости медленно убывает с ростом энергии частицы, но всегда превышает 77%.

Для характеристики угловой концентрации излучения и направления, в котором эта концентрация происходит, введены эффективный угол излучения и угол отклонения. Проведено аналитическое и численное исследование зависимости этих величин от энергии частицы.

Обнаружено, что для каждой гармоники излучения начиная с некоторой энергии частицы существует область углов, прилегающая к плоскости орбиты, где мощность излучения электрона превосходит мощность излучения бозона (бесспиновой частицы).

Методами квантовой теории исследовано свойство деконцентрации излуче-

ния. Установлено что характер поведения угла отклонения для полного неполяризованного излучения, круговой поляризации и σ – компоненты линейной поляризации совпадает с классическим. Для π – компоненты найдено существенное отличие. Всегда деконцентрация по классике больше соответствующего аналога в квантовой теории. Для круговой поляризации критическая скорость отсутствует.

Исследовано отношение спектрально – угловых распределений в квантовой и классической теориях как функция энергии частицы. Установлено, что качественный характер поведения этой функции одинаков для всех типов поляризованного и полного неполяризованного излучения. В случае круговой поляризации в ее угловом распределении имеет место асимметрия относительно плоскости орбиты, характерная для самого излучения. Существует критическое значение релятивистского фактора γ , начиная с которого в некоторой области углов мощность излучения, вычисленная по квантовой теории, превосходит классическое значение. В области углов от 0 до π при $\gamma > \gamma_{cr}$ существует всего 2 критических угла, в направлении которых классическая и квантовая теории приводят к одинаковым результатам.

Установлено, что для электрона в плоскости орбиты излучение π – компоненты поляризации не равно нулю, как это имеет место в классическом случае и в случае бесспиновой частицы. Это излучение обусловлено исключительно переходами с переориентацией электронного спина. Оказалось, что мощность излучения электронов в π – компоненте поляризации при переходах с переворотом спина и его ориентацией в конечном состоянии против поля более чем в 170 раз превосходит излучение с конечной ориентацией по полю.

Положения, выносимые на защиту

1. Полное качественное и количественное исследование в рамках классической теории синхротронного излучения парциальных вкладов отдельных гармоник излучения в полную излучаемую мощность. Разработка точных аналитических методов теоретического описания круговой поляризации излучения.
2. Сравнительный анализ теоретических выражений для угловых распределений отдельных гармоник синхротронного излучения, полученных в классической и квантовой теориях и выяснение роли квантовых поправок в этих характеристиках излучения.
3. Теоретическое исследование влияния спиновых эффектов на угловое рас-

пределение и полную излучаемую мощность синхротронного излучения.

Достоверность научных выводов и результатов Проведенные в диссертации теоретические исследования и методы расчета опираются на апробированные теоретически и проверенные экспериментально методы квантовой и классической теорий излучения.

Достоверность сформулированных в диссертации положений и выводов подтверждается качественным согласием полученных результатов с результатами других авторов. Тестирование в численных расчетах проводилось стандартными методами.

Апробация работы Основные результаты диссертации обсуждались на семинарах Томского государственного университета, Омского государственного университета, докладывались на следующих конференциях:

1. XVI Международная школа – семинар по современным проблемам теоретической и математической физики "Волга - 2004". г. Казань, 22 июня – 03 июля 2004 г.
2. XV INTERNATIONAL SYNCHROTRON RADIATION CONFERENCE. "BUDKER INSTITUTE OF NUCLEAR PHYSICS SB RAS SIBERIAN SYNCHROTRON RADIATION CENTER", July 19 – 23, 2004, Novosibirsk, Russia.
3. XVI INTERNATIONAL SYNCHROTRON RADIATION CONFERENCE. "BUDKER INSTITUTE OF NUCLEAR PHYSICS SB RAS SIBERIAN SYNCHROTRON RADIATION CENTER", July 10-14, 2006, Novosibirsk, Russia

Публикации Основные результаты диссертации опубликованы в 6 работах [1–6].

Структура и объем работы Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка цитируемой литературы. Диссертация изложена на 96 страницах, включает в себя 36 рисунков и 14 таблиц и содержит список литературы из 102 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы основные цели работы, указана новизна результатов, приведена структура и содержание диссертации, перечислены защищаемые положения.

В **первой главе** рассмотрение синхротронного излучения ведется методами классической теории поля. Кратко приведена существующая классическая теория излучения в ходе которого описаны все обозначения применяемые в дальнейшем. Выписано спектрально-угловое распределение мощности излучения произвольно движущегося заряда в волновой зоне. Затем кратко представлена классическая теория синхротронного излучения для которой приведена формула Шотта, которая полностью описывает свойства излучения.

$$dW_s(\nu, \theta) = V_0 \frac{\nu^2}{\beta^2} \left[l_2 \beta J'_\nu(\nu\beta \sin \theta) + l_3 \frac{\cos \theta}{\sin \theta} J_\nu(\nu\beta \sin \theta) \right]^2 \sin \theta d\theta. \quad (1)$$

Здесь числовые параметры l_2, l_3 нужно выбирать следующим образом: для $s = g = \pm 1$ полагаем $l_2 = \varepsilon g l_3 = 1/\sqrt{2}$; для $s = 2$ полагаем $l_2 = 1, l_3 = 0$; для $s = 3$ полагаем $l_2 = 0, l_3 = 1$; для $s = 0$ полагаем $l_2^2 = l_3^2 = 1, l_2 l_3 = 0$.

Затем рассмотрены парциальные вклады отдельных гармоник линейно-поляризованного и полного неполяризованного излучения. Дано определение парциальных вкладов как величины отношения:

$$P_\nu^{(i)}(\beta) = \frac{W_i(\nu)}{W_i}, \quad (2)$$

и проводится его аналитическое и численное исследования. Так в наиболее важном случае релятивистского излучения асимптотические формулы примут вид

$$P_\nu^{(i)} \approx \frac{1}{\nu} \psi_i(y), \quad y = \frac{2\nu}{3\gamma^3}.$$

Положив

$$P_\nu^{(i)}(\beta) = (1 - \beta^2)^2 q_\nu^{(i)}(\beta), \quad (3)$$

при больших ν получим

$$q_\nu^{(3)}(1) \approx \frac{3 \cdot 3^{1/6} \Gamma(2/3)}{\pi} \nu^{1/3} \approx 1,5529164 \nu^{1/3}, \quad q_\nu^{(2)}(1) \approx \frac{3}{7} q_\nu^{(3)}(1),$$

$$q_\nu^{(0)}(1) \approx \frac{1}{2} q_\nu^{(3)}(1), \quad (4)$$

Также получены значения скоростей γ

$$\gamma_\nu^{(i)} = a_i \nu^{1/3}, \quad a_i = (2/3y_i)^{1/3}, \quad (5)$$

при которых парциальные вклады (2) достигают максимального значения $\overline{P_\nu^{(i)}}$ и сами эти значения.

Для небольших значений номера гармоники $\nu = 1 \div 10$ приведены графики исследуемых функций в зависимости от скорости движения заряда β

Кроме того сравнивая полученные результаты с более ранними результатами других авторов при больших энергиях можно получить следующую асимптотическую связь

$$\nu_i = b_i \nu_i(\max), \quad \nu \gg 1. \quad (6)$$

Здесь $\nu_i(\max)$ - номер гармоники, на которую приходится максимум в спектральном разложении полной мощности излучения проинтегрированной по углу θ , при том $\beta = \beta_\nu^{(i)}$, для которого парциальный вклад $P_{\nu_i}^{(i)}(\beta)$ достигает своего максимума. Здесь $b_0 \approx 4.6473$, $b_2 \approx 4.1319$, $b_3 \approx 6.3470$

Также рассмотрена эволюция углового распределения круговой поляризации синхротронного излучения. Для исследования введены спец. функции и получены их приближения рядами пригодными для практических вычислений. Для параметра a , характеризующего точку в которой функция углового распределения достигает своего максимума получено новое значение $a \approx 0.2672$

$$\theta_1(\beta) \approx \frac{\pi}{2} - \frac{a}{\gamma}, \quad \gamma \gg 1, \quad (7)$$

Определено, что степень круговой поляризации в верхней (или нижней) полуплоскости медленно убывает с ростом энергии частицы, но при всех энергиях превышает 77%.

Введены эффективный угол излучения и угол отклонения. Степень угловой концентрации излучения характеризуется эффективным углом излучения, а направление, в окрестности которого эта концентрация происходит, углом отклонения. По определению, в угловой интервал $\overline{\Delta}_1 = \theta_2^{(1)} - \theta_1^{(1)}$ излучается половина мощности правополяризованного излучения. Минимальное значение $\overline{\Delta}_1$ обозначено Δ_1 и названо эффективным углом излучения. Расположение минимального отрезка Δ_1 на оси θ задаётся, указанием расстояния $\alpha_1(\beta)$ середины этого отрезка от точки $\theta = \pi/2$ (плоскость орбиты). Величина $\alpha_1(\beta)$ названа углом отклонения. Таким образом имеем

$$\Delta_1(\beta) = \theta_2^{(1)} - \theta_1^{(1)}, \quad \alpha_1(\beta) = (\pi - \theta_1^{(1)} - \theta_2^{(1)})/2, \quad (8)$$

Определено, что в ультрарелятивистском случае ($\gamma \gg 1$) функции $\Delta_1(\beta)$ и $\alpha_1(\beta)$ стремятся к нулю и имеют место асимптотики $\Delta_1 \approx a_1/\gamma$, $\alpha_1 \approx b_1/\gamma$; $a_1 \approx 0.6765(38.76^\circ)$, $b_1 \approx 0,2891(16,56^\circ)$

Таким образом дано количественное описание круговой поляризации синхротронного излучения методами классической теории излучения.

Вторая глава посвящена квантовой теории синхротронного излучения и ее сравнению с классической. А именно, на основании точных квантовомеханических формул подробно рассмотрены угловые профили отдельных гармоник синхротронного излучения.

Прежде всего приведены основные уравнения Клейна-Гордона для бесспиновой частицы и Дирака для частицы со спином $1/2$. Выписаны их решения в однородном магнитном поле на основании которых ранее были определены матричные элементы спонтанных переходов, которые и служат причиной синхротронного излучения. Для описания спиновых свойств электрона использована z компонента оператора тензора поперечной поляризации.

Таким образом для исследований были использованы следующие квантовомеханические формулы:

$$W_i = V_0 \Phi_i(n|\beta); \quad \Phi_i(n|\beta) = \int_0^\pi w_i(n|\beta; \theta) \sin \theta d\theta, \quad (9)$$

$$w_i(n|\beta; \theta) = \sum_{\nu=1}^n f_i(n|\nu, \beta; \theta),$$

$$V_0 = \frac{m_0^2 e^2 c^3}{\hbar^2} \left(\frac{H}{H_0} \right)^2 \beta^2 (1 - \beta^2) = \frac{e^4 H^2 (1 - \beta^2) \beta^2}{m_0^2 c^3} = \frac{m_0^2 e^2 c^3 \beta^6}{4 \hbar^2 \bar{n}^2 (1 - \beta^2)},$$

здесь $\bar{n} = n$ для электрона и $\bar{n} = n + 1/2$ для бесспиновой частицы (бозона).

Для бозона следует положить

$$f_i^b(n|\nu, \beta; \theta) = \frac{(\nu + x)^3}{4\bar{n}(\nu - x)} \left(2l_2 \sqrt{x} I'_{n, n-\nu}(x) + l_3 \frac{\nu + x}{\sqrt{x}} I_{n, n-\nu}(x) \cos \theta \right)^2, \quad (10)$$

$$x = \nu \frac{1 - \sqrt{1 - \alpha \beta^2 \sin^2 \theta}}{1 + \sqrt{1 - \alpha \beta^2 \sin^2 \theta}}.$$

Функции $f_i^b(n|\nu, \beta; \theta)$ остаются конечными при $\beta = 0, 1$.

Для электрона в (9) следует положить

$$f_i^e(n|\nu, \beta, \zeta, \zeta'; \theta) = \frac{(\nu + x)^3}{2\bar{n}(\nu - x)} \left(\frac{2\bar{n}}{\beta^2} - (x + \nu) \right) |l_2 S_2^e + i l_3 S_3^e|^2, \quad (11)$$

$$S_2^e = i(A^+ I_{n, n-\nu-1}(x) - \zeta \zeta' A^- I_{n-1, n-\nu}(x)),$$

$$S_3^e = (A^+ I_{n, n-\nu-1}(x) - \zeta \zeta' A^- I_{n-1, n-\nu}(x)) \cos \theta +$$

$$+ (\zeta \zeta' B^- I_{n, n-\nu}(x) + B^+ I_{n-1, n-\nu-1}(x)) \sin \theta.$$

Здесь обозначено

$$A^\pm = c(\mp \zeta, \pm \zeta')(\sqrt{1-p} + \zeta \zeta' \sqrt{1+p}),$$

$$B^\pm = c(\pm\zeta, \pm\zeta')(\sqrt{1-p} - \zeta\zeta'\sqrt{1+p}),$$

$$p = \frac{\alpha\beta^2 \cos \theta}{1 - \alpha\beta^2 + \sqrt{1 - \alpha\beta^2 \sin^2 \theta}},$$

$$c(\zeta, \zeta') = \frac{1}{4} \sqrt{(1 + \zeta\sqrt{1 - \beta^2})(1 + \zeta'\sqrt{\frac{1 - \beta^2}{1 - \alpha\beta^2}})}.$$

Спиновое квантовое число $\zeta = \pm 1$, причем $\zeta = +1$ соответствует направлению спина по полю, а $\zeta = -1$ - против поля.

В принятых обозначениях классическая формула Шотта (1) примет вид

$$f_i^{cl}(\nu, \beta; \theta) = \nu^2 (l_2 J'_\nu(z) + l_3 \frac{\text{ctg } \theta}{\beta} J_\nu(z))^2, \quad z = \nu\beta \sin \theta. \quad (12)$$

На основании приведенных формул с помощью численного моделирования выявлены общие тенденции поведения угловых распределений различных поляризаций для неполяризованного излучения электрона и излучения бозона. Значения параметров были выбраны так, чтобы тенденции и поведение проявились наиболее ярко. При сравнении с классическими аналогами установлено, что характер и поведение мощностей в общем соответствуют классическому аналогу. Кроме того найдено, что для каждой конкретной гармоники существует некоторое β , при котором найдется такая область углов θ , что мощность излучения по квантовой теории превзойдет мощность излучения по классической теории рис. Это утверждение справедливо как для бозона так и для электрона.

Для излучения π -компоненты в направлении плоскости орбиты при низкоэнергетических переходах интенсивность не обращается в нуль, как это происходит в классическом случае и в случае излучения бозона. Оказалось, что наиболее ярко этот эффект проявляется при достаточно малых номерах n и только в переходах со сменой ориентации спина. Причем в переходах с противоориентацией эффект имеет большее проявление, чем в обратных переходах.

Методами квантовой теории исследовано свойство деконцентрации излучения. Установлено что характер поведения угла отклонения для полного неполяризованного излучения, круговой поляризации и σ компоненты линейной поляризации совпадает с классическим. Для π компоненты найдено существенное отличие. Всегда деконцентрация по классике больше соответствующего аналога в квантовой теории. Для круговой поляризации критическая скорость отсутствует.

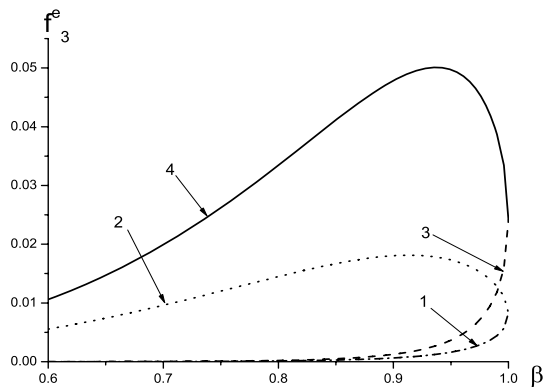


Рис. 1: Интенсивность излучения π -компоненты излучения электрона в плоскости орбиты для $\nu = 2$ и $n = 3$ 1-начальный спин против поля; 2-по полю, и $n = 4$ 3-начальный спин против поля; 4-по полю

Подробно рассмотрена мера отличия угловых профилей рассчитанных по классике и по квантовой теории для бозона. Введены критический угол и скорость параметры при которых мощность излучения по квантовой теории превосходит классический аналог. Для некоторых значений параметров найдены предельные ультрарелятивистские значения критических углов и скоростей.

Третья глава посвящена анализу проявления спиновых свойств электронов в синхротронном излучении. Как и ранее для описания спина использован оператор тензора поперечной поляризации, а точнее его z компонента. Выписаны точные квантовомеханические формулы для мощности излучения разделенные по спину частиц. Очевидно, что

$$W_i(\nu) = \frac{1 + \zeta\zeta'}{2} W_i^{(1)}(\nu) + \frac{1 - \zeta\zeta'}{2} W_i^{(2)}(\nu), \quad (13)$$

где $W_i^{(1)}(\nu)$ - часть излучаемой мощности при переходах без переориентации электронного спина (без переворота спина), $W_i^{(2)}(\nu)$ - часть излучаемой мощности с переворотом спина, ζ, ζ' - спиновое квантовое число в начальном и конечном состояниях.

Для количественной оценки влияния спина на спектрально - угловое распределение рассмотрен наиболее важный случай ультрарелятивистской частицы. В ультрарелятивистском пределе $1 - \beta^2 \ll 1$ суммирование по ν можно заменить интегрированием и использовать аппроксимацию функций Лагерра функциями Макдональда $K_\mu(z)$

Найдено, что составляющую $W_3^{(2)}$ можно представить в виде проинтегрированном по углу θ :

$$W_3^{(2)} = W_0 \xi^2 J_3^{(2)}(\zeta) \quad (14)$$

где

$$J_3^{(2)}(\zeta) = \frac{1}{2} \left(\frac{23}{9} + \zeta \frac{35}{8\sqrt{3}} \right), \quad J_3^{(2)}(1) \approx 2,54; \quad J_3^{(2)}(-1) \approx 0,0148. \quad (15)$$

Тем самым $J_3^{(2)}(1)$ и $J_3^{(2)}(-1)$ отличаются более чем в 170 раз. А значения мощности излучения для различных ориентаций спина в плоскости орбиты отличаются в 464 раза. Для σ компоненты

$$W_2^{(1)} = W_0 \left[J_2^{(1)} - \xi \overline{J_2^{(1)}(\zeta)} \right]$$

получено, что

$$J_2^{(1)} = \frac{7}{8}, \quad \overline{J_2^{(1)}(\zeta)} = \frac{5}{\sqrt{3}} + \zeta, \quad \overline{J_2^{(1)}(1)} \approx 3,89, \quad \overline{J_2^{(1)}(-1)} \approx 1,89. \quad (16)$$

Как видим, значения $\overline{J_2^{(1)}(1)}$ и $\overline{J_2^{(1)}(-1)}$ отличаются более чем вдвое.

Установлено, что в плоскости орбиты излучение π компоненты поляризации не равно нулю, как это имеет место в классическом случае и в случае бесспиновой частицы.

Спин для σ -компоненты излучения существенным образом входит только в переходы без переориентации спина, а для π -компоненты только в переходы с переориентацией спина. Т.о. существует принципиальная возможность на основании измерения мощности отдельных компонент синхротронного излучения говорить о том какая часть электронов совершила переходы с переворотом спина и без него.

В **заключении** сформулированы основные результаты, полученные в диссертации.

Основные результаты и выводы

Произведено аналитическое и численное исследование парциальных вкладов отдельных гармоник в мощность синхротронного излучения. Рассмотрено нерелятивистское приближение и ультрарелятивистский предел. В частности установлено, что парциальный вклад максимален при энергии заряда, существенно отличающейся от той энергии, при которой на данную гармонику приходится максимум в спектральном распределении мощности синхротронного излучения.

Введены новые специальные функции для исследования углового распределения круговой поляризации мощности синхротронного излучения. Детально изучены свойства этих функций. Исправлено ранее известное ошибочное значение числового коэффициента, характеризующего угол отклонения максимума

углового распределения круговой поляризации от плоскости орбиты. Для характеристики угловой концентрации излучения и направления концентрации введены эффективный угол излучения и угол отклонения. Установлено, что степень круговой поляризации в верхней или нижней полуплоскости медленно убывает с ростом энергии частицы, но всегда превышает 77%.

Впервые в классической теории синхротронного излучения введены эффективный угол излучения и угол отклонения, характеризующие угловую концентрацию излучения и направление, в котором эта концентрация происходит. Дано полное аналитическое и численное исследование введенных величин. В частности показано, что при неограниченном увеличении энергии заряда эти величины убывают до нуля, что соответствует известному ранее качественному выводу о концентрации излучения релятивистского заряда в плоскости орбиты. Найдены точные асимптотические формулы в ультрарелятивистском пределе.

Свойство деконцентрации отдельных гармоник синхротронного излучения исследовано методами квантовой теории. Установлено, что общий характер поведения угла отклонения для полного неполяризованного излучения, круговой поляризации и σ – компоненты линейной поляризации совпадает с классическим. Для π – компоненты найдено существенное отличие. Показано, что всегда деконцентрация по классической теории больше соответствующего аналога в квантовой теории.

Установлено, что для каждой фиксированной гармоники существует критическое значение релятивистского фактора γ , начиная с которого в некоторой области углов мощность синхротронного излучения, вычисленная по квантовой теории, превосходит свое классическое значение. В области углов от 0 до π при $\gamma > \gamma_{cr}$ существует всего 2 критических угла, в направлении которых классическая и квантовая теории приводят к одинаковым результатам.

Показано, что для каждой фиксированной гармоники синхротронного излучения существует некоторая область углов, прилегающая к плоскости орбиты, где мощность излучения электрона превосходит мощность излучения бозона.

Найдена с помощью квазиклассического приближения первая квантовая поправка к классической теории синхротронного излучения, справедливая при всех энергиях заряда. Ранее такая поправка была известна лишь в ультрарелятивистском пределе. В качестве меры отличия квантовой и классической теорий введены критический угол и скорость. Для области значений физических параметров, при которых отличия проявляются наиболее ярко, приведены численные значения критических углов и скоростей.

Установлено методами квантовой теории, что в плоскости орбиты излучение π – компоненты поляризации для электрона не равно нулю, как это имеет место в классическом случае и в случае бесспиновой частицы. Теоретически доказано, что это излучение обусловлено исключительно квантовыми переходами, связанными с переориентацией спина электрона и поэтому его нет в классической теории и квантовой теории излучения бесспиновых частиц.

Обнаружено, что мощность излучения электронов в π – компоненте поляризации при переходах с переворотом спина и его ориентацией в конечном состоянии против поля более чем в 170 раз превосходит соответствующую мощность излучения с ориентацией спина в конечном состоянии по полю.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах

- [1] В. Г. Багров, М. В. Должин, В. Б. Тлячев, А. Т. Яровой.
Эволюция углового распределения круговой поляризации синхротронного излучения при изменении энергии заряда.
Известия вузов. Физика. 2004, т. 47, № 4, с. 68 – 75.
- [2] М. В. Должин, А. Т. Яровой.
Сравнительный анализ угловых распределений синхротронного излучения, рассчитанных по классической и квантовой теории. Излучение бозона.
Известия вузов. Физика. 2005, т. 48, № 8, с. 47 – 51.
- [3] В. Г. Багров, М. В. Должин, А. Т. Яровой.
Квантовое описание эволюции угловых распределений синхротронного излучения при изменении энергетических параметров заряда.
Поверхность. Рентгеновские синхротронные и нейтронные исследования. 2005, № 9, с. 5 – 12.
- [4] М. В. Должин, А. Т. Яровой.
Сравнительный анализ угловых распределений синхротронного излучения, рассчитанных по классической и квантовой теории.
Поляризованное излучение бозона.
Известия вузов. Физика. 2005, т. 48, № 10, с. 53 – 58.
- [5] В. Г. Багров, М. В. Должин, К. Г. Серавкин, В. М. Шахматов.
Парциальные вклады отдельных гармоник в мощность

синхротронного излучения.

Известия вузов. Физика. 2006, т. 49, № 7, с. 3 – 10.

[6] V. G. Bagrov, M. V. Dolzhin.

Dependence of spectral – angular distribution of synchrotron radiation from spin orientation.

Nuclear Instruments & Methods in Physics Research. A.

NIMA. 2007. V.575 №1-2. P.231-233.