Сведения о выполненных работах
в период с 01.07.2017 г. по 30.06.2018 г.

по проекту **«Квантовая динамика пучков с фазами и её приложения»**,
поддержанному Российским научным фондом

Соглашение № 17-72-20013

Руководитель: канд. физ.-мат. наук Карловец Дмитрий Валерьевич

Развита модель релятивистского локализованного волнового пакета с орбитальным угловым моментом для бозонов и фермионов, являющаяся точным решением уравнений Клейна-Гордона и Дирака соответственно, за пределами параксиального приближения, когда размер пакета может быть соизмерим с комптоновской длиной волны массивной частицы. Найдены поправки к таким наблюдаемым как средняя энергия, средний импульс, магнитный момент, сечение рассеяния и др., обусловленные отказом от параксиального приближения, т.е. в режиме сильной фокусировки. Обнаружено, что поправки к параксиальному приближению линейно усиливаются при больших орбитальных угловых моментах. Данное усиление не имеет место для обычных гауссовых пучков или даже для пакетов с аналитической фазой волновой функции (например, пучки Эйри), что делает "закрученные" частицы с орбитальным моментом уникальным инструментом анализа непараксиальных эффектов в квантовой физике, атомной физике, физике высоких энергий и даже в ядерной физике. Ранее было указано, для использования таких "закрученных" электронов в физике адронов (например, при решении проблемы спина протона) необходима фокусировка электронных пучков в пятно, практически равное комптоновской длине волны. Наши результаты показывают, что для достижения поперечных импульсов, характерных для адронного масштаба (~10-100 МэВ) можно не только фокусировать пучки электронов, но и увеличивать их орбитальный момент, что технически значительно проще. Полученные непараксиальные пакеты позволили сделать количественные предсказания величины соответствующих эффектов, в частности спин-орбитального взаимодействия, а также позволили указать пределы применимости недавно предложенных "пакетных" решений (S.M. Barnett, Relativistic electron vortices, Phys. Rev. Lett. 118, 114802 (2017); I. Bialynicki-Birula, Z. Bialynicka-Birula, Relativistic electron wave packets carrying angular momentum, Phys. Rev. Lett. 118, 114801 (2017)), страдающих многими недостатками. Проведено сравнение полученных непараксиальных решений с известными параксиальными пучками Гаусса-Лаггера и проанализированы различия массивного и безмассового случаев.

В рамках подхода Иваненко-Соколова произведены расчеты величины среднего орбитального углового момента излучения при плоскостном и аксиальном каналировании электронов с энергией 0.1-2.5 ГэВ. Показано, что для <110> аксиального каналирования 255 МэВ электронов в кристалле Si средний орбитальный угловой момент возникающего излучения составляет до 6 ħ в расчёте на один вышедший фотон. Из полученной оценки следует, что пучок 255 МэВ-ных

электронов, состоящий из 10^10 частиц в банче, и частотой повторения 1 Гц, позволит создать излучение с полным угловым моментом около 10^8 ħ в секунду. Получена общая формула для вероятности излучения закрученного фотона классическим током. Построена общая теория излучения закрученных фотонов ондуляторами и виглерами. В частных случаях предсказания разработанной теории согласуются с известными в литературе теоретическими и экспериментальными результатами (https://journals.aps.org/pra/abstract/10.1103/PhysRevA.97.033837).

На основе решения уравнения Фоккера Планка исследована эволюция плотности распределения заряженных каналированных пучков в кристалле SI, как функция глубины проникновения и поперечной энергии. Вычислена длина деканалирования 270 и 855 МэВ электронов при (100), (110) и (111) каналировании в кристалле SI. Разработана модель для исследования спектров интенсивности каналированных заряженных электронных пучков в кристалле, которая, включает коллимацию фотонного пучка, использование реальных начальных распределений параметров пучка и эволюцию пучка в поперечном направлении к плоскостям каналирования. Проведено сравнение спектров излучения 270 и 855 МэВ-ных электронов при (100), (110) и (111) каналировании в SI с экспериментальными данными МАИНЦ. Полученные результаты для длины деканалирования согласуются с нижней границей экспериментальных данных, форма спектров излучения как же имеет неплохое согласие с полученной на эксперименте.

Получено общее выражение для тензора поляризации фотонов в поле лазерного пучка Гаусса-Лагерра и Гаусса-Эрмита. Приведен анализ применимости полученных выражений для реальных параметров лазерного поля, используемого в современных экспериментах.

Информация о проекте размещена на англоязычной странице Физического факультета Томского государственного университета: https://phys.tsu.ru/~vvm/en/rtmf.htm. Также часть результатов проекта были представлены исполнителем С.В. Абдрашитовым на популярной лекции "Раскручиваем свет на новые открытия" для школьников, проведенной 26.04.2018 в рамках проекта ТГУ "Университет открытий": http://abiturient.tsu.ru/news/24963/.