

ОТ СРЕД ИЗ ПРОВОДОВ К ТЁМНОЙ МАТЕРИИ

Балафендиев Р.Н. (ФГАОУ ВО Университет ИТМО) Белов П.А. (ФГАОУ ВО Университет ИТМО)

Научный руководитель – доктор ф.-м. наук, профессор Симовский К.Р.
(ФГАОУ ВО Университет ИТМО)

Казалось бы, сама суть концепции тёмной материи – невероятно слабое взаимодействие с привычными нам формами материи – делает её прямое детектирование крайне сложным. Тем не менее, так как этот вопрос является принципиальным для нашего понимания вселенной, за последние десятилетия были выдвинуты не только детальные теории о том, какими свойствами обладают составляющие её частицы, но и методы их экспериментального наблюдения. В данном докладе будет представлен способ проверки одной из наиболее популярных теорий о частицах, составляющих тёмную материю, путём детектирования их распада в резонаторе, заполненном искусственной плазмой - средой из проводов.

Введение.

Долгое время эксперименты по прямому наблюдению тёмной материи фокусировались на так называемых Слабо Взаимодействующих Массивных Частицах (WIMPs). Однако, продолжительное отсутствие результатов в этом направлении поставило в центр внимания космологического сообщества другую группу теоретических частиц, в число которых входит так называемый аксион. Изначально аксион был предложен Френком Вильчеком в области квантовой хромодинамики для решения проблемы сохранения CP симметрии в сильном взаимодействии. Однако, оказалось, что присваиваемые аксиону свойства также делают его хорошим кандидатом на роль составляющей тёмную материю частицы. В отличие от WIMP, предполагаемая масса аксиона невероятно мала. Однако, на данный момент не существует точного предсказания диапазона, в котором она находится – только предельные оценки, обусловленные имеющимися наблюдениями (космологическими и не только). Как следствие, за последнее десятилетие был предложен ряд экспериментов, направленных на поиск аксионов в различных диапазонах параметров. Главным образом они направлены на детектирование сигнала от фотонов, получающихся в результате распада аксиона под воздействием сильного постоянного магнитного поля. Как правило, это детектирование планируется осуществлять путём возбуждения аксионом микроволновых резонаторов на частоте, соответствующей массе аксиона, и последующего снятия сигнала с них. Тем не менее, до недавнего времени эксперименты в диапазоне десятков гигагерц, называемым наиболее многообещающим согласно последним теоретическим оценкам, были недостижимыми. Главным препятствием является то, что при увеличении частоты, на которой ведётся поиск, размеры соответствующего резонатора уменьшаются, что в свою очередь ведёт к снижению эффективности. Для решения данной проблемы были предложены ряд техник – использование нескольких связанных резонаторов, диэлектрических вставок и так далее. Однако, наиболее перспективным предложением можно назвать использование искусственной плазмы, в качестве которой могут выступать среды из проводов.

Основная часть.

Предлагаемая нами система состоит из одноосной среды из проводов, помещённой в прямоугольный микроволновый резонатор. Плазменная частота среды из проводов, на которой в ней появляются не-эванесцентные волны, определяется только радиусом и периодом проводов. Это позволяет устранить связь частоты, на которой оперирует резонатор, с его размером. Модовый состав получившейся системы можно разбить на TE моды, с электрическим полем перпендикулярным проводам и не взаимодействующим с ними, и TM моды, с электрическим полем направленным вдоль проводов. Частота TM мод оказывается смещена вверх за счёт взаимодействия с проводами, что и позволяет достичь желаемого диапазона десятков гигагерц. Для детектирования сигнала аксиона предлагается использовать

первую ТМ моду резонатора, обладающую наибольшей однородностью. Это необходимо для обеспечения наибольшей чувствительности эксперимента – так как она определяется интегралом от произведения электрического поля моды и постоянного магнитного поля, более высокие моды менее выгодны из-за изменения знака в них. Другими факторами, влияющими на чувствительность, являются объём и добротность резонатора. Благодаря использованию среды из проводов, объём резонатора ограничивается только иными частями системы, в первую очередь магнита и криогенной установки. Добротность резонатора, в свою очередь, главным образом определяется проводимостью проводов. Путём аналитических вычислений нами было показано, что описанная система позволяет обеспечивать добротность порядка нескольких тысяч при комнатной температуре. Данные наблюдения были впоследствии подтверждены численно и экспериментально. Зависимость плазменной частоты от периода среды из проводов также даёт возможность осуществлять механическую перестройку резонатора, что необходимо для сканирования наибольшей области пространства параметров и уменьшения времени эксперимента.

Выводы.

В составе консорциума ALPHA, куда также входят учёные Stockholm University в Швеции и MIT, UC Berkeley и Stanford University, мы работаем над разработкой плана по проведению предварительного эксперимента, нацеленного на сканирование частот в районе 16 ГГц, обозначенного как приоритетный последними теоретическими оценками. Последующей целью является проведение полномасштабного эксперимента, рассчитанного на сканирование области от 10 до 20 ГГц. В случае успешного наблюдения сигнала от аксионов, перед человечеством откроется новый способ исследования вселенной – аксионная астрономия.

Балафендиев Р.Н. (автор)

Симовский К.Р.(научный руководитель)