

**Отзыв научного руководителя  
на выпускную квалификационную работу студента-магистра МИФИ  
Калашникова Дмитрия Сергеевича  
На тему «Исследование формирования структур взаимодействующей  
скрытой массой»**

Магистерская диссертационная работа Калашникова Д.С. посвящена проблеме скрытой массы Вселенной, а именно развитию модели взаимодействующей скрытой массы. Подобные модели могут способствовать разрешению проблем существующего  $\Lambda$ CDM сценария, а также происхождения позитронной аномалии в космических лучах.

В работе рассматривается процесс рекомбинации частиц скрытой массы, обладающих собственным («темным») взаимодействием кулоновского типа. Это важно, т.к. от эффективности этого процесса зависит динамика образования скрытой массой структуры Вселенной. Чем больше частиц прорекомбинирует (больше «темных» атомов образуется), тем ближе такой вид скрытой массы к бесстолкновительной, поэтому рассматриваемый вопрос в диссертации имеет большое значение.

Дмитрий рассматривал различные приближения в описания такого процесса: классическое, полуклассическое (формула Крамерса) и случай трехчастичной рекомбинации. Обсуждаются применимости всех приближений. Основное внимание уделяется эффективности трехчастичной рекомбинации. Показано, что она может давать существенный вклад при определенных параметрах, лежащих в области применимости описания соответствующего процесса.

В целом, на протяжении всего обучения Дмитрий работал хорошо, изучил самостоятельно по литературе методики расчета процессов. Имеет две публикации, доклады на двух международных конференциях.

Считаю, что выпускная квалификационная работа Д. С. Калашникова заслуживает оценки «отлично», а сам он присуждения степени магистра и рекомендации в аспирантуру.

Науч.руководитель, д.ф.-м.н., в.н.с.

*Белоцкий*

Белоцкий К.М.