

## ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ НА РАБОТУ СОИСКАТЕЛЯ П.С.МЕДВЕДЕВА

Диссертационная работа Павла Медведева посвящена широкому кругу вопросов от элементарных процессов в горячем разреженном газе скоплений галактик до формирования спектров рентгеновского излучения в релятивистских струях (джетах) в рентгеновских двойных.

Центральной темой работы соискателя явилось исследование роли процессов диффузии химических элементов в горячей разреженной астрофизической плазме в гравитационном поле. Среди рассматриваемых объектов – межгалактический газ в скоплениях галактик, межзвездная среда галактик раннего типа, газ в гало темной материи в период формирования первых галактик во Вселенной. В этих объектах диффузия элементов происходит под действием сил гравитации, градиентов плотности и температуры. Рассматривая диффузию в галактиках и скоплениях галактик, Павел решал полную систему уравнений Бургерса для вычисления диффузионных скоростей, дополненную уравнениями гидродинамики для описания (небольших) макроскопических движений газа, возникающих вследствие перераспределения химических элементов в газе. Павел продемонстрировал важность явления термодиффузии в межгалактическом газе скоплений галактик с холодными ядрами. В этих объектах градиенты температуры достаточно велики, так что термодиффузия способна противодействовать гравитационной седиментации элементов тяжелее водорода под действием гравитационного потенциала скопления. Это приводит к оттоку тяжелых элементов из центральных холодных областей скоплений галактик и формированию сложных профилей обилия химических элементов, включая гелий, в скоплениях галактик. Однако во внешних частях скоплений, где температура падает к периферии, термодиффузия и сила гравитации работают в одну сторону. Под их совместным действием содержание гелия в скоплении галактик в целом увеличивается с темпом порядка нескольких процентов в год.

В галактиках раннего типа градиенты температуры как правило направлены к центру, ускоряя гравитационную седиментацию элементов. Павел исследовал выборку из 11 эллиптических галактик, для которых есть рентгеновские данные высокого качества, и рассчитал диффузию элементов в этих объектах. Он продемонстрировал, что обилие гелия в центре этих галактик может возрасти на 60% за один миллиард лет, при этом диффузия происходит быстрее в маломассивных галактиках поля и периферии скоплений, чем в гигантских эллиптических галактиках, окруженных горячим межгалактическим газом.

В горячем газе скоплений галактик и эллиптических галактик гелий полностью ионизован, поэтому его содержание нельзя измерить непосредственно, например по излучению в спектральных линиях. С другой стороны, изменение обилия гелия в межгалактическом и межзвездном газе может привести к возникновению систематических ошибок при измерениях, производимых по рентгеновскому и микроволновому излучению скоплений галактик и галактик,

таких как измерение обилия металлов, температуры газа и угломерного расстояния до этих объектов. Это необходимо учитывать при интерпретации, в частности, данных наблюдений этих галактик для задач космологии.

Павел исследовал влияние диффузии на химический состав газа в гало темной материи на этапе формирования галактик. Он продемонстрировал, что в зависимости от степени прогрева газа в период непосредственно перед эпохой реионизации, обилия дейтерия и гелия в гало массой порядка  $10^6$  солнечных может возрасти на 0.01-0.04%.

В рамках диссертационной работы соискатель также исследовал формирование спектров излучения в джетах (релятивистских струях) в рентгеновских двойных. Он разработал спектральную модель теплового излучения джетов и применил ее для описания рентгеновских спектров высокого разрешения источника SS433, полученных обсерваторией Чандра.

В заключение отмечу, что диссертационная работа Павла Медведева выполнена на высоком научном уровне. Результаты, представленные в ней, получены впервые, опубликованы в ведущих рецензируемых научных изданиях и неоднократно докладывались на конференциях и семинарах в России и за рубежом. Павел внес основной вклад в полученные результаты на всех этапах работы. Представленная диссертационная работа соответствует всем требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание степени кандидата физико-математических наук.



член-корреспондент РАН, д.ф.м.н. М.Р.Гильфанов