

1) Авторы: **П. С. Медведев**, С. Ю. Сазонов, М. Р. Гильфанов отдел 52 ИКИ РАН.

2) Название:

"Диффузия элементов в межзвездной среде в галактиках раннего типа"
("Diffusion of Elements in the Interstellar Medium in Early-Type Galaxies").

3) Ссылки: ПИСЬМА В АСТРОНОМИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ, 2017, том 43, №5, с. 321-340
<http://adsabs.harvard.edu/abs/2017AstL...43..285M>

4) Несмотря на большое количество теоретических работ, посвященных диффузии элементов в скоплениях галактик, степень влияния этого физического процесса на формирование пространственного распределения элементов продолжает быть спорным вопросом на протяжении долгого времени. Хорошо известно, что процессы переноса (диффузия, теплопроводность, вязкость) в горячей замагниченной космической плазме могут быть существенно подавлены магнитными полями (см. Чандраран & Коули 1998). Тем не менее, благодаря хаотическому характеру изменений магнитных полей, порождаемых турбулентным перемешиванием газа, глобальные коэффициенты переноса могут оставаться достаточно большими, чтобы диффузия частиц продолжала быть важной на временных масштабах характерных для скоплений галактик или галактик раннего типа (Нараян & Медведев, 2001, Чужой & Лоеб, 2004).

Хотя наблюдательные проявления диффузии частиц в межгалактической и межзвездной средах пока не обнаружены, нет никаких сомнений, что дальнейший прогресс в наблюдательной технике (главным образом, рентгеновских экспериментов и наблюдений эффекта Сюняева-Зельдовича в скоплениях галактик) позволит найти жесткие ограничения на амплитуду эффектов, связанных с диффузией (см. Маркевич 2007). В этом случае, обнаружение таких эффектов (или обнаружение их отсутствия), а также их сопоставление с теоретическими расчетами должны дать чрезвычайно важную информацию о степени подавления коэффициентов диффузии в турбулентной замагниченной плазме.

5) В работе рассматривается роль диффузии в перераспределении элементов в горячей межзвездной среде галактик раннего типа. Известно, что процесс гравитационной седиментации может значительно влиять на содержание гелия и тяжелых элементов в горячем межгалактическом газе массивных скоплений галактик. Универсальный вид профиля температуры в скоплениях с холодными ядрами и теоретическое корреляционное соотношение масса-температура позволяют предположить, что максимальный эффект седиментации должен иметь место в самых массивных вириализованных объектах во Вселенной.

Однако наблюдательные данные обсерваторий Chandra и XMM-Ньютон демонстрируют более сложные масштабные соотношения между массами галактик раннего типа и другими их параметрами, такими как массовая доля и температура межзвездного газа. Немаловажно, что радиальный профиль температуры в межзвездной среде в галактиках раннего типа может иметь как спадающий, так и нарастающий характер. Эти факторы могут существенно влиять на амплитуду седиментации, поэтому необходимо провести детальные расчеты диффузии элементов основываясь на наблюдаемых характеристиках межзвездного газа.

6) Мы рассчитали диффузию, основываясь на наблюдаемых распределениях плотности и температуры газа для 13 галактик раннего типа, имеющих разные типы окружения и охватывающих широкий диапазон рентгеновских светимостей. Рассматривается модельная задача без учета магнитных полей, отклонения состояния газа от гидростатического равновесия и с постоянным во времени температурным профилем. Хотя такая постановка задачи выглядит идеализировано, ее решение, с одной стороны, должно быть полезным для поиска наблюдательных проявления диффузии элементов в маломассивных эллиптических галактиках, а с другой - дает понимание роли диффузии среди других физических процессов, протекающих в горячей межзвездной плазме. Решая полную систему уравнений Бюргера, мы демонстрируем нетривиальную зависимость интегрального эффекта от массы галактики и типа ее окружения.

7) В совокупности с нашими предыдущими исследованиями, мы подробно изучили роль процессов диффузии в формировании распределения элементов внутри вириального радиуса в галактиках, группах и скоплениях галактик с вириальными массами от 10^{12} до $10^{15} M_{\text{Sun}}$. Оказалось, что в межзвездном газе обилие гелия может меняться столь же существенным образом, как и в межгалактической плазме. Это происходит несмотря на то, что температура межзвездной среды значительно меньше температуры межгалактического газа. Интересно, что в случае скоплений происходит усиление эффекта для более массивных скоплений, а в случае галактик зависимость обратная. Это частично связано с тем, что в отличие от галактик раннего типа, средняя температура межгалактического газа в скоплениях близко следует вириальному соотношению $M \sim T^{3/2}$.

Для эллиптических галактик, характеризующихся положительным радиальным градиентом температуры газа, диффузия может вызвать относительный прирост массы гелия на 25% внутри эффективного радиуса за миллиард лет. Для менее массивных галактик, имеющих спадающий с радиусом профиль температуры, соответствующий прирост гелия оказывается еще больше, 60%. Также показано, что эффект термодиффузии существенно ускоряет седиментацию элементов в галактиках со спадающим профилем температуры и замедляет седиментацию в галактиках с холодными ядрами. Увеличение концентрации тяжелых элементов, в целом, следует за изменением обилия гелия. Так, для ионов железа FeXXII эффект седиментации оказывается примерно в два раза меньше, чем для гелия. Так как оценить обилие гелия напрямую из рентгеновской спектроскопии не представляется возможным, при анализе спектров обычно предполагается солнечное обилие гелия. Мы показали, что двухкратная недооценка обилия гелия приводит к 20% ошибке в определении обилия тяжелых элементов из рентгеновской спектроскопии космической плазмы.