

^{1,2}B.T. Shukirgaliyev, ^{1,2}T.P. Panamarev, ³A.Zh. Naurzbaeva, ^{1,3}M.T. Kalambay, ^{2,4,5}P.P. Berczik,
²A. Just, ^{2,4,6}R. Spurzem, ¹M.A. Makukov, ¹E.Y. Vilkoviskij, ^{7,1}Ch.T. Omarov

¹Fesenkov Astrophysical Institute, Kazakhstan;

²Astronomisches Rechen-Institut, Zentrum für Astronomie der Universität Heidelberg, Germany;

³Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan;

⁴National Astronomical Observatories of China and Key Laboratory for Computational Astrophysics, China;

⁵Main Astronomical Observatory, National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine;

⁶Kavli Institute for Astronomy and Astrophysics at Peking University, China;

⁷National Center of Space Research and Technology, Kazakhstan

bekdaulet@aphi.kz, mukhagalv@gmail.com

EFFECT OF GAS ACCRETION DISC PROFILE ON ORBITAL PARAMETERS OF THE ACCRETED STARS

Abstract. The results of studies of the effect of the gas disk and its profile on the dynamics of active galactic nuclei are presented. The study was conducted with a numerical model of galactic nucleus based on phiGRAPE+GPU comprising three subsystems – a central supermassive black hole, gaseous accretion disc, and compact stellar cluster. The evolution of the compact stellar cluster is modeled with direct integration (N-body simulation), while the black hole and gaseous disc are represented phenomenologically: the black hole is introduced as an external potential (fixed in space but variable in time due to black hole mass growth), and the gaseous disc is introduced as spatial time-independent density distribution. We examined and compared with each other orbital parameters of accreting stars for model of the galactic nucleus with gas disc of constant and variable thickness, as well as without gas. It was found that in the presence of a gaseous disk almost half of the accreted particles interact strongly with the gas and are captured by the disc before accretion, while more than 85% of particles are affected to some extent by the disc prior to accretion. This suggests that interaction of the stellar cluster with the gas disk in the galactic nucleus might lead to the formation of stellar disk in the central part of the nucleus.

Key words: active galactic nuclei (AGN), supermassive black hole (SMBH), accretion gas disk (AGD), computational astrophysics, N-body simulations

УДК 524.47-54

^{1,2}Б.Т. Шукиргалиев, ^{1,2}Т.П. Панамарев, ³А.Ж. Наурзбаева, ^{1,3}М.Т. Қаламбай, ^{2,4,5}П.П. Берцик,
²А. Юст, ^{2,4,6}Р. Шпурцем, ¹М.А. Макуков, ¹Э.Я. Вильковиский, ^{7,1}Ч.Т. Омаров

¹Астрофизический институт им. В.Г. Фесенкова, Казахстан;

²Astronomisches Rechen-Institut, Zentrum für Astronomie der Universität Heidelberg, Germany;

³Казахский Национальный Университет им. Аль-Фараби, Казахстан;

⁴National Astronomical Observatories of China and Key Laboratory for Computational Astrophysics, China;

⁵Главная Астрономическая Обсерватория, Национальной Академии Наук Украины, Украина;

⁶Kavli Institute for Astronomy and Astrophysics at Peking University, China;

⁷Национальный центр космических исследований и технологии, Казахстан

ВЛИЯНИЕ ПРОФИЛЯ АККРЕЦИОННОГО ГАЗОВОГО ДИСКА НА ОРБИТАЛЬНЫЕ ПАРАМЕТРЫ АККРЕЦИРУЕМЫХ ЗВЕЗД

Аннотация. В работе представлены результаты исследования влияния газового диска и его профиля на динамику активных ядер галактик. Исследование проводилось на основе реализованной с помощью кода phiGRAPE+GPU численной модели галактического ядра, состоящей из трех подсистем – центральной

сверхмассивной черной дыры, аккреционного газового диска и компактного звездного кластера. Эволюция звездного кластера интегрируется прямым методом (N-body simulations), а черная дыра и газовый диск заданы феноменологически – черная дыра задана в виде внешнего потенциала (неподвижного в пространстве, но изменяемого со временем вследствие роста массы черной дыры), а газовый диск задан в виде пространственного распределения плотности, не зависящего от времени. Рассматривались и сравнивались между собой орбитальные параметры аккрецирующих звезд для моделей ядра галактики с газовым диском постоянной и переменной толщины, а также без диска. Выявлено, что в присутствии газового диска почти половина аккрецированных частиц тесно взаимодействует с газом и захватывается диском перед аккрецией, более 85% частиц до аккреции претерпевает то или иное влияние со стороны диска. Это наводит на мысль, что взаимодействие звездного кластера с газовым диском в галактическом ядре может привести к возникновению звездного аккреционного диска в центральной части ядра.

Ключевые слова: активные ядра галактик (АЯГ), сверхмассивная черная дыра (СМЧД), аккреционный газовый диск (АГД), вычислительная астрофизика, задача N тел.

Физическая природа активных ядер галактик (АЯГ) и в наши дни далека от полного понимания, поэтому развитие теории АЯГ до сих пор остается одной из актуальнейших проблем астрофизики. Согласно современным представлениям, активность ядер галактик объясняется аккрецией вещества на сверхмассивные (до нескольких триллионов масс Солнца) черные дыры, находящиеся, по-видимому, в центрах всех галактик [1]. Высвобождаемая в ходе этой аккреции гравитационная энергия и является тем источником, который лежит в основе чрезвычайно мощного излучения, наблюдаемого из АЯГ.

Активное ядро галактики можно рассматривать как состоящее из трех подсистем: центральной сверхмассивной черной дыры (СМЧД), аккреционного газового диска (АГД), формирующегося из-за сохранения момента импульса аккрецируемого вещества, и компактного сферически-симметричного звездного кластера [2].

В предыдущих работах [3-6] с помощью численного моделирования нами было исследовано взаимодействие звездного кластера с аккреционным диском и его влияние на динамику и эволюцию активных ядер галактик. Действительно, диссипативное воздействие со стороны газового диска приводит к потере энергии звездами в центральной части кластера и, при определенных условиях, к аккреции некоторых звезд на черную дыру.

В этих исследованиях мы использовали две феноменологические модели газового диска. В первой газовый диск имел кеплеровское вращение, постоянную высоту и задавался в виде неизменного во времени распределения плотности :

$$\rho(R, z) = \frac{2 - \alpha}{2\pi\sqrt{2\pi}} \frac{M_d}{hR_d^3} \left(\frac{R}{R_d}\right)^{-\alpha} \exp\left[-\beta_s \left(\frac{R}{R_d}\right)^s\right] \exp\left(-\frac{z^2}{2h^2R_d^2}\right), \quad (1)$$

где $\alpha = 3/4$ (соответствует внешней границе диска по модели Новикова-Торна [6]), $R^2 = x^2 + y^2$,

R_d - радиус диска, $\beta_s = \left[\Gamma\left(1 + \frac{2 - \alpha}{s}\right)\right]$ ($\Gamma(x)$ - гамма-функция, s было взято равным 4, тогда

$\beta_s = 0.70$), M_d - масса диска, h определяет полутолщину диска: $h_z = hR_d$.

Вторая, более реалистичная модель газового диска являлась модификацией первой модели с введением линейного возрастания полутолщины диска на внутреннем участке. Эта модификация была основана на физических свойствах внутреннего аккреционного диска, которые описываются приближением Шакуры-Сюняева [8].

$$h_z = hR_d \left(\frac{R}{R_{crit}}\right). \quad (2)$$

Точка перехода от линейной полутолщины к постоянной определялась, приравнивая выражения для скорости звука в случае самогравитации диска, $c_s^2 = 4\pi Gh_z \Sigma$, и в случае ее отсутствия $c_s^2 = 2h_z^2 GM_{bh} R^{-3}$. Тогда $R_{crit} = 0.0257314$ в безразмерной системе единиц N-body [8], которую мы используем везде в дальнейшем.

Свойства аккреционного диска были зафиксированы приведенной массой μ_d с аналитическим распределением плотности согласно уравнению (1) со значениями параметров $\alpha = 3/4$ и $s = 4$ и $h = 10^{-3}$. Подразумевалось кеплеровское вращение диска в потенциале сверхмассивной черной дыры, пренебрегая гравитационным воздействием диска и градиентами давления внутри диска [3]. Подробнее о моделях газового диска - в [5].

Черная дыра также задавалась феноменологически в виде ньютоновского потенциала. Звездный кластер моделировался прямым интегрированием взаимодействия отдельных звезд друг с другом (N-body simulations), а также с газовым диском и черной дырой. Если звезда попадает в область с радиусом менее R_{acc} (радиус аккреции), то она считается аккрецировавшей – ее масса добавляется к массе черной дыры, а сама звезда удаляется из системы. В качестве исходного кода для численного моделирования применялся код phiGRAPE+GPU [10], который использует технологии параллельного вычисления (CUDA и MPI). В этот код нами был добавлен модуль, описывающий диссипативное взаимодействие звезд с газом. Эволюция системы начинается с состояния, задаваемого моделью Пламмера. Более подробное описание численной модели может быть найдено в [3,4,6].

В [5] было проведено сравнение результатов, полученных при использовании двух моделей газового диска, т.е. исследовалось влияние профиля диска на процесс аккреции звезд на черную дыру (см. пунктирная линия на Рис. 2). Рассматривались звезды, которые аккрецируют благодаря воздействию газового диска, то есть звезды с малыми значениями эксцентриситета (считалось, что звезды, аккрецирующие при $e \approx 1$, то есть на орбитах, близких к гиперболическим, попадают в область захвата черной дыры в результате случайных пролетов). Было найдено, что в первой модели аккрецирующие при вращении в одну с диском сторону звезды образуют на диаграмме “эксцентриситет - угол наклона орбиты к плоскости диска” тесную группу с почти круговыми орбитами, лежащими практически в плоскости диска, а противовращающиеся звезды обладают любыми значениями угла наклона и эксцентриситета в момент аккреции. В модели же диска с переменной толщиной со- и противовращающиеся звезды аккрецируют при любых углах наклона орбиты, однако около 70% всех захваченных СМЧД звезд в момент захвата были очень близки к круговой орбите и находились в плоскости диска. Кроме того, во второй модели диска момент импульса передается черной дыре в большем количестве, чем в первой.

В настоящей работе представлены результаты дальнейшего исследования влияния газового диска на динамику активных ядер галактик, а именно, обсуждаются орбитальные параметры аккрецирующих звезд, которые были захвачены СМЧД в течение двух времен релаксации ($t = 2t_{rel}$), начиная с начального момента, для трех моделей: со “старым” (с постоянной толщиной) и с “новым” (с переменной толщиной) газовыми дисками, а также без диска. Во всех запусках число звезд в системе составляло 32 тысячи, радиус аккреции принимался равным $0.0003R_d$.

Результаты и обсуждение

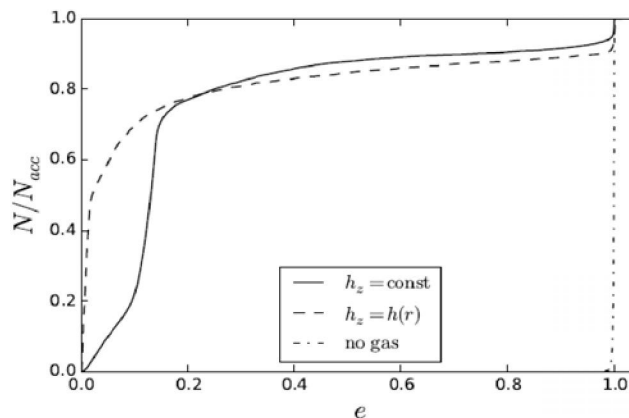


Рисунок 1 - Кумулятивное распределение частиц по эксцентриситетам их орбит в момент аккреции для модели без газового диска (штрихпунктирная линия), модели с диском постоянной толщины (сплошная линия) и модели с диском переменной толщины (пунктирная линия). По оси ординат отложено отношение числа звезд, аккрецировавших с эксцентриситетом, меньшим заданного, к числу всех аккрецировавших звезд

Результаты исследования эксцентриситетов орбит аккрецируемых звезд приведены на рисунках 1-3. На рисунке 1 представлено кумулятивное распределение частиц по эксцентриситетам их орбит в момент аккреции для трех моделей, по оси ординат отложено отношение числа звезд, аккрецируемых с эксцентриситетом, меньшим заданного, к числу всех аккрецированных звезд.

На рисунках 2-3 представлены гистограммы эксцентриситетов орбит аккрецированных звезд. Для возможности более детального анализа, гистограммы приведены в линейном и логарифмическом виде, также отдельно приведена гистограмма для модели без газового диска с использованием меньших интервалов разбиения области значений эксцентриситета. Как видно из рисунков, при отсутствии газового диска звезды аккрецируются на орбитах, близких к гиперболическим, т.е. попадают в область захвата черной дыры в результате случайных пролетов. Газовый диск значительно влияет на распределение эксцентриситетов аккрецируемых частиц: в модели с "новым" диском около 50% звезд аккрецируются на почти круговых орбитах, в модели со "старым" диском частицы в основном аккрецируются на более вытянутых орбитах.

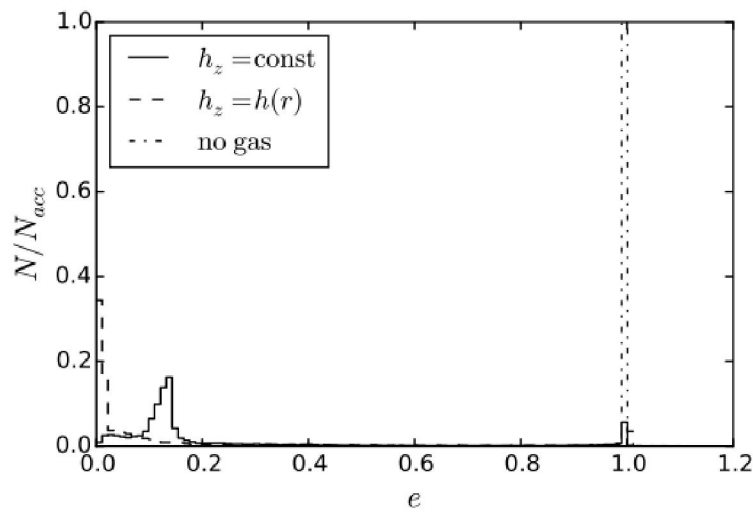


Рисунок 2 - Распределение эксцентриситетов орбит звезд в момент их аккреции для трех моделей в линейном (А) и логарифмическом (В) масштабах. Обозначения те же, что на рисунке 1.

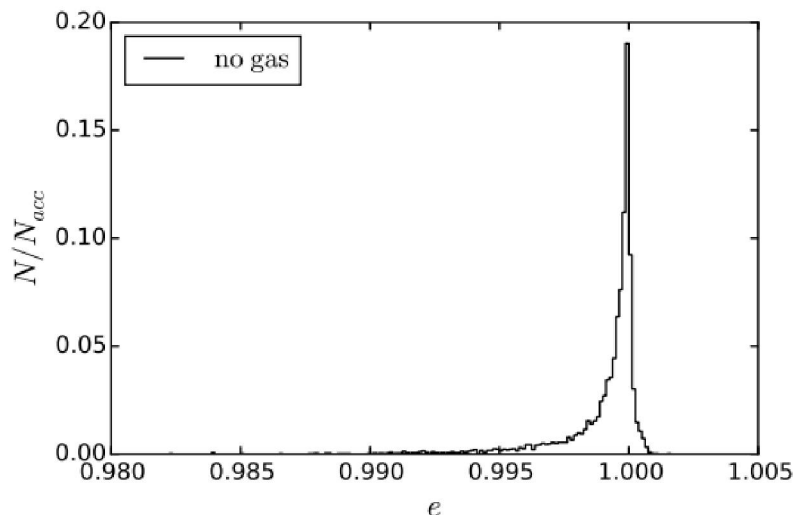


Рисунок 3 - Распределение эксцентриситетов орбит звезд в момент их аккреции для модели без газового диска с использованием меньших, чем на рисунке 2, интервалов разбиения области значений эксцентриситета

На рисунке 4 представлено кумулятивное распределение частиц по углам наклона орбит к плоскости газового диска в момент аккреции. Видно, что при использовании "старой" модели диска углы наклона почти 50% аккрецируемых частиц занимают область между 0^0 и 10^0 , кроме

того, почти половина частиц аккрецируется, находясь в обратном диску вращения. При использовании же "новой" модели диска около 45% звезд аккрецируются на черную дыру, вращаясь в плоскости диска и в одном с ним направлении, доля противовращающихся в момент аккреции частиц меньше, чем для модели диска с постоянной толщиной. Это объясняется тем, что толщина диска в "старой" модели больше радиуса аккреции, что приводит к торможению многих звезд с обратным вращением в центральной части диска, включая звезды в почти перпендикулярной к диску плоскости. В случае усовершенствованной модели диска, плотный газ около центральной черной дыры находится практически лишь в плоскости экватора, что позволяет многим звездам в центральной части успеть проэволюционировать в сторону вращения диска.

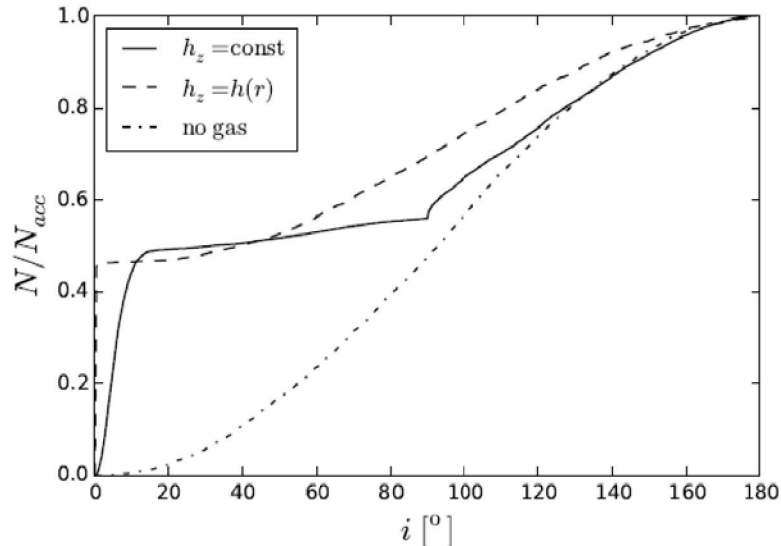


Рисунок 4 - Кумулятивное распределение частиц по углам наклона орбит к плоскости газового диска в момент аккреции для трех моделей. Обозначения те же, что на рисунке 1

На рисунках 5 и 6 представлены распределения аккрецированных частиц на плоскости эксцентриситет - угол наклона орбиты для "старой" и "новой" моделей диска, соответственно. Здесь хорошо видны частицы, которые были захвачены газовым диском до момента аккреции: в виде плоского облака в области $\sim 0.1^\circ \div \sim 10^\circ$ для диска с постоянной толщиной, и облака в области $< 1^\circ$ для диска переменной толщины. Это облако на рисунке 6 соответствует тем 45 % частиц рисунка 4, которые аккрецировались, вращаясь в плоскости диска.

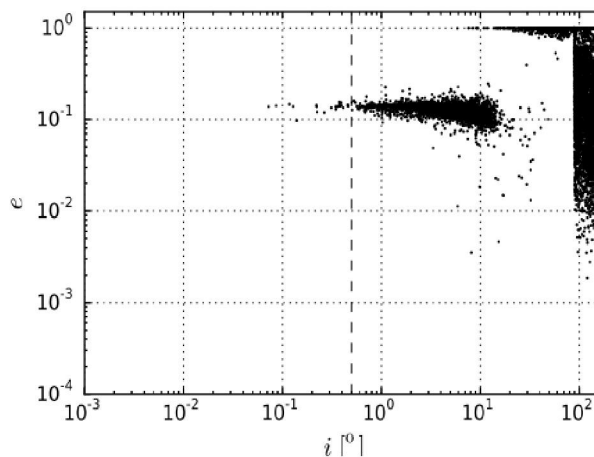


Рисунок 5 - Распределение аккрецированных частиц на плоскости угол наклона орбиты - эксцентриситет для модели с газовым диском постоянной толщины. Каждая точка представляет одну частицу. Пунктирная линия соответствует углу наклона орбиты, равному углу раскрытия в модели аккреционного диска с переменной толщиной.

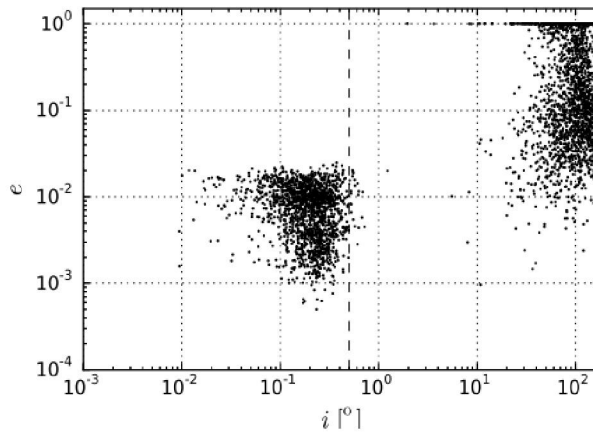


Рисунок 6 - Распределение аккрецировававших частиц на плоскости угол наклона орбиты - эксцентриситет для модели с газовым диском переменной толщины. Обозначения те же, что на рисунке 5

Мы проанализировали также распределение длин больших полуосей орбит частиц в момент аккреции. На рисунке 7 представлено кумулятивное распределение частиц по значениям больших полуосей их орбит, а на рисунках 8-10 - распределение частиц на диаграмме длина большой полуоси - угол наклона орбиты для трех моделей.

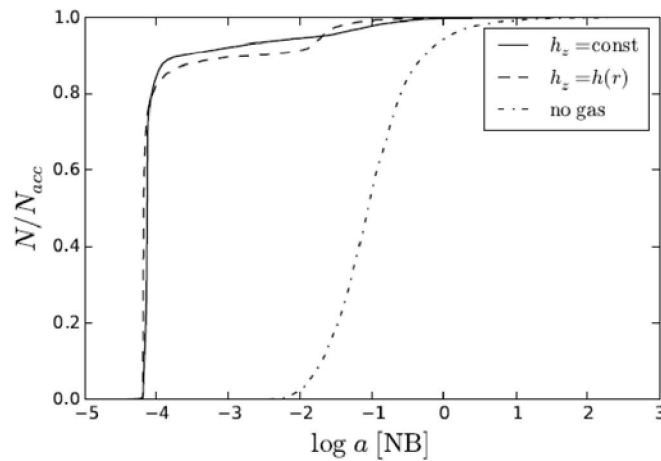


Рисунок 7 - Кумулятивное распределение частиц по значениям больших полуосей их орбит. Обозначения те же, что на рисунке 1

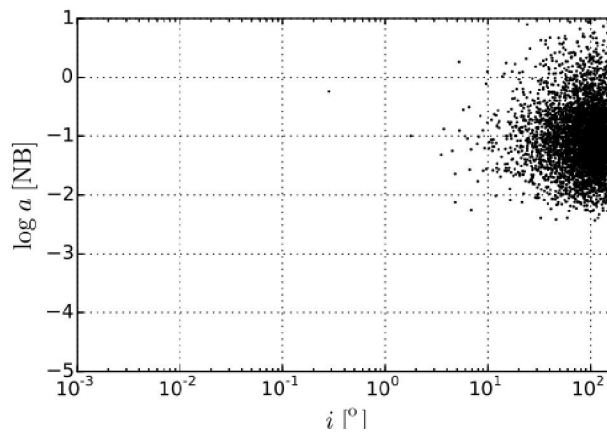


Рисунок 8 - Распределение частиц на диаграмме длина большой полуоси - угол наклона орбиты для модели без газового диска

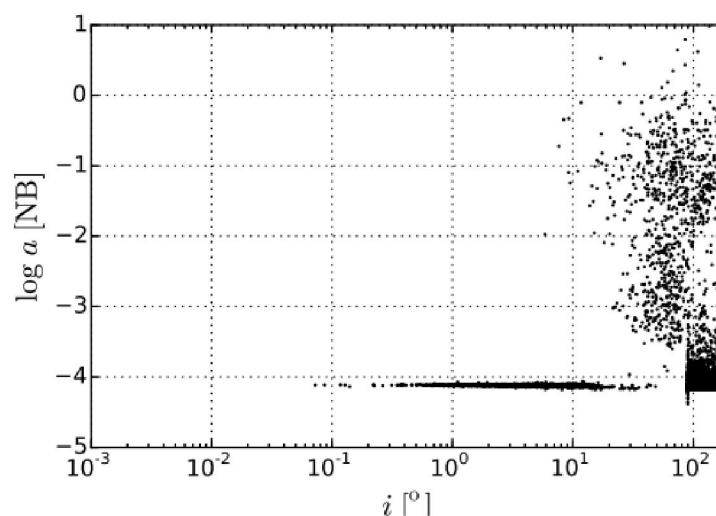


Рисунок 9 - Распределение частиц на диаграмме длина большой полуоси - угол наклона орбиты к плоскости аккреционного диска для модели с диском постоянной толщины

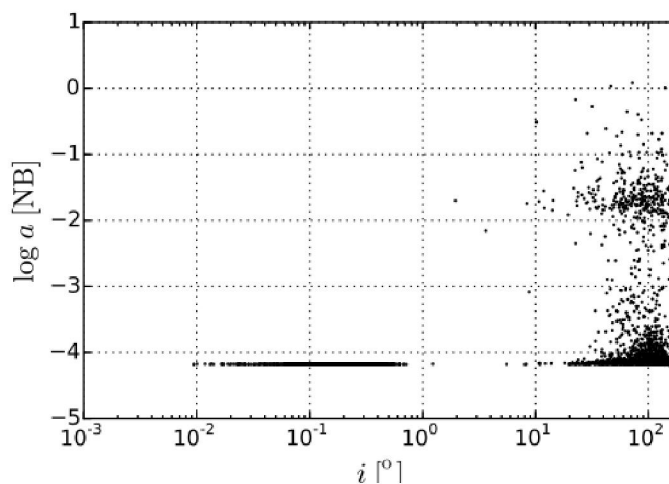


Рисунок 10 - Распределение частиц на диаграмме длина большой полуоси - угол наклона орбиты к плоскости аккреционного диска для модели с диском переменной толщины

На рисунке 8, где приведена диаграмма для модели без газового диска, мы видим частицы, аккрецированные согласно теории конуса потерь (loss cone) [11]. На диаграммах для двух других моделей мы также можем видеть такие частицы, аккрецированные без взаимодействия с газовым диском, однако здесь есть и "частицы диска", т.е. частицы, захваченные диском перед аккрецией, которые представлены на этих диаграммах в виде тонких "облаков" в их нижней части.

Выводы

Анализ полученных результатов позволяет сформулировать вывод, что в присутствии газового диска почти половина аккрецированных частиц тесно взаимодействовала с газом и была захвачена диском перед аккрецией. Доля частиц, аккрецированных по теории конуса потерь (без всякого влияния диска), для модели с газовым диском очень невелика - 5-10%. Тот факт, что более 85% частиц до аккреции претерпело в той или иной степени влияние со стороны диска приводит к мысли, что взаимодействие звездного кластера с газовым диском в галактическом ядре может способствовать возникновению звездного аккреционного диска в центральной части ядра и сделать звездный кластер осесимметричным. Результаты дальнейших исследований будут опубликованы в наших следующих работах. С предварительными результатами можно ознакомиться в работе [12].

Работа выполнена в рамках Международного Проекта сотрудничества и академического

обмена между Германией и Казахстаном ‘STARDISK – Simulating Dense Star-Gas Systems in Galactic Nuclei using special hardware’ (I/81 396, финансируемая Фондом Фольксваген, Германия) и Программы Целевого Финансирования (код программы – №0073-10/ПЦФ-15-МОН). Для расчетов были использованы специальные оборудованные GPU ускорителями суперкомпьютеры laohu (the Center of Information and Computing at National Astronomical Observatories, Chinese Academy of Sciences, China, Sciences, финансируемая Министерством Финансов КНР под грантом ZDYZ2008-2), titan, hydra, kepler (Astronomisches Rechen-Institut, University of Heidelberg, Germany, финансируемые грантами I/80041-043 и I/84678/84680 Фонда Фольксваген и грантами 823.219-439/30 и /36 Министерства Науки, Исследования и Искусства Баден-Вюртемберга, Германия) и tesla, grape (Астрофизический Институт им. В.Г. Фесенкова, финансируемые проектом STARDISK).

Мы благодарим Фонд Фольксваген за финансовую поддержку и Академию Наук Китая и Национальную Астрономическую Обсерваторию Китая за поддержку через проект ‘Silk Road Project’.

Берцик П. благодарит Национальную Академию Наук Украины за поддержку через проект вычислительного кластера GRID/GPU Главной Астрономической Обсерватории. Также Берцик П.П., Юст А. и Шпурцем Р. выражают благодарность Фонду Фольксваген за оказываемую поддержку под грантом трехстороннего сотрудничества No. 90411 (Trilateral Partnerships grant No. 90411).

ЛИТЕРАТУРА

- [13] Kormendy J., Ho L.C. Coevolution (or not) of supermassive black holes and host galaxies. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* **2013**, 51, 511–653.
- [14] Seth, A., Agüeros, M., Lee, D., Basu-Zych, A. The coincidence of nuclear star clusters and active galactic nuclei. *The Astrophysical Journal*, **2008**, 678, 116-130.
- [15] Just, A., Yurin, D., Makukov, M., Berczik, P., Omarov, Ch., Spurzem, R., Vilkoviskij, E.Y. Enhanced accretion rates of stars on supermassive black holes by star-disk interactions in galactic nuclei. *The Astrophysical Journal*, **2012**, 758, 51.
- [16] Vilkoviskij E., Makukov M., Omarov Ch., Panamarev T., Spurzem R., Berczik P., Just A. Numerical simulations of AGN evolution. *Astronomical and Astrophysical Transactions*. **2013**, 28, 151-160.
- [17] Шукиргалиев, Б.Т., Панамарев, Т.П., Абдрахманов, С.Г., Макуков, М.А., Омаров, Ч.Т. Влияние профиля аккреционного диска на динамику активных ядер галактик. *Известия НАН РК. Серия физико-математическая*, **2015**, 5, 5-11.
- [18] Kennedy, G.F., Meiron, Y., Shukirgaliyev, B., Panamarev, T., Berczik, P., Just, A., Spurzem, R. Star–disc interaction in galactic nuclei: orbits and rates of accreted stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **2016**, 260, 240–255.
- [19] Novikov I. D., Thorne K. S. Astrophysics of black holes. In: *Black holes*, 1973, 343-450.
- [20] Shakura N.I., Sunyaev R.A. Black holes in binary systems. Observational appearance. *Astronomy and Astrophysics*, **1973**, 24, 337-347.
- [21] Aarseth, S. J. Gravitational N-Body Simulations: Tools and Algorithms. Cambridge University Press, **2003**, P. 431.
- [22] Harfst, S., Gualandris, A., Merritt, D., Spurzem, R., Zwart, S. P., Berczik, P. Performance analysis of direct N-body algorithms on special-purpose supercomputers. *New Astronomy*, **2007**, 12, 357-377.
- [23] Frank, J., Rees, M. J. Effects of massive central black holes on dense stellar systems. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **1976**, 176, 633-647.
- [24] Shukirgaliyev B.T. The effect of gaseous accretion disk on dynamics of the stellar cluster in AGN. *Star Clusters and Black Holes in Galaxies across Cosmic Time, Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium*, 2016, 312, 113-117.

REFERENCES

- [13] Kormendy J., Ho L.C. Coevolution (or not) of supermassive black holes and host galaxies. *Annu. Rev. Astron. Astrophys.* **2013**, 51, 511–653.
- [14] Seth, A., Agüeros, M., Lee, D., Basu-Zych, A. The coincidence of nuclear star clusters and active galactic nuclei. *The Astrophysical Journal*, **2008**, 678, 116-130.
- [15] Just, A., Yurin, D., Makukov, M., Berczik, P., Omarov, Ch., Spurzem, R., Vilkoviskij, E.Y. Enhanced accretion rates of stars on supermassive black holes by star-disk interactions in galactic nuclei. *The Astrophysical Journal*, **2012**, 758, 51.
- [16] Vilkoviskij E., Makukov M., Omarov Ch., Panamarev T., Spurzem R., Berczik P., Just A. Numerical simulations of AGN evolution. *Astronomical and Astrophysical Transactions*. **2013**, 28, 151-160.
- [17] Shukirgaliyev B.T., Panamarev T.P., Abdrakhmanov S.G., Makukov M.A., Omarov Ch.T., Effect of accretion disc profile on the dynamics of active galactic nuclei. [Vliyaniya profilya akkrecionnogo diska na dinamiku aktivnih yader galaktik]. *Izvestia NAN RK. Seria physico-matematicheskaya*, **2015**, 5, 5-11.

- [18] Kennedy, G.F., Meiron, Y., Shukirgaliyev, B., Panamarev, T., Berczik, P., Just, A., Spurzem, R. Star–disc interaction in galactic nuclei: orbits and rates of accreted stars. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **2016**, 260, 240–255.
- [19] Novikov I. D., Thorne K. S. Astrophysics of black holes. In: *Black holes*, 1973, 343–450.
- [20] Shakura N.I., Sunyaev R.A. Black holes in binary systems. Observational appearance. *Astronomy and Astrophysics*, **1973**, 24, 337–347.
- [21] Aarseth, S. J. Gravitational N-Body Simulations: Tools and Algorithms. Cambridge University Press, **2003**, P. 431.
- [22] Harfst, S., Gualandris, A., Merritt, D., Spurzem, R., Zwart, S. P., Berczik, P. Performance analysis of direct N-body algorithms on special-purpose supercomputers. *New Astronomy*, **2007**, 12, 357–377.
- [23] Frank, J., Rees, M. J. Effects of massive central black holes on dense stellar systems. *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, **1976**, 176, 633–647.
- [24] Shukirgaliyev B.T. The effect of gaseous accretion disk on dynamics of the stellar cluster in AGN. *Star Clusters and Black Holes in Galaxies across Cosmic Time, Proceedings of the International Astronomical Union, IAU Symposium*, 2016, 312, 113–117.

^{1,2}Б.Т. Шукиргалиев, ^{1,2}Т.П. Панамарев, ³А.Ж. Наурызбаева, ^{1,3}М.Т. Қаламбай, ^{2,4,5}П.П. Берцик, ²А. Юст, ^{2,4,6}Р. Шпурцем, ¹М.А. Макуков, ¹Э.Я. Вильковиский, ^{7,1}Ч.Т. Омаров

¹ В.Г. Фесенков атындағы астрофизикалық институт, Қазақстан

² Astronomisches Rechen-Institut, Zentrum für Astronomie der Universität Heidelberg, Germany

³ Әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық Университеті, Қазақстан

⁴ National Astronomical Observatories of China and Key Laboratory for Computational Astrophysics, China

⁵ Бас Астрономиялық Обсерватория, Украина Ұлттық Ғылыми Академиясы, Украина

⁶ Kavli Institute for Astronomy and Astrophysics at Peking University, China

⁷ Ұлттық ғарыштық зерттеулер мен технологиялар орталығы, Қазақстан

АККРЕЦИЯЛЫҚ ГАЗДЫ ДИСК ПІШІНІНІҢ АККРЕЦИЯЛАНУШЫ ЖҰЛДЫЗДАРДЫҢ ОРБИТАЛЫҚ СИПАТТАМАСЫНА ӘСЕРІ

Түйіндеме. Осы жұмыста газды диск және оның пішінінің галактикаларының динамикасына әсерін зерттеу нәтижелері көрсетілген. Зерттеулер phiGRAPE+GPU кодының негізінде іске асырылған белсенді ядролы галактика үлгісі үш құраушыдан – орталық аса үлкен массалы қара құрдымнан, аккрециялық газ дискісі және ықшам жұлдыздық кластерден құралған деп жүргізілді. Жұлдыздық кластер эволюциясы тікелей әдіспен (N-body simulations) интегралданады, ал қара құрдым мен газды диск феноменологиялық түрде берілген – қара құрдым сыртқы (кеңістікте қозғалмайтын, алайда қара құрдым массасының өсуі салдарынан өзгертін) потенциал түрінде, ал газды диск уақыт бойынша өзгермейтін газ тығыздығының кеңістікте таралуымен берілген. Қалыңдығы тұрақты және өзгермелі, және де диск жоқ болғандағы галактика ядроларының моделдері үшін аккрецияланушы жұлдыздардың сипаттамаларын өзара салыстыру қарастырылды. Газды диск бар болған жағдайда аккрецияланған бөлшектердің жартысы дерлік газбен тығыз байланысады және аккрецияға дейін дискпен қарпылады, аккрецияға дейін 85% бөлшектер диск тарапынан қандай да болсын әсерге ұшырайды. Бұл галактика ядроларындағы жұлдыздық жүйе мен газды дисктің әсерлесу нәтижесінде ядроның орталық бөлігінде жұлдыздық аккрециялық диск пайда болады деген ойға алып келеді.

Тірек сөздер: Галактикалардың белсенді ядролары (ГБЯ), аса массалы қара құрдым (АМҚК), аккрециялы газды диск (АГД), есептеуіш астрофизика, N-дене есебі.