

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА ФТИ 34.01.04
при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки
Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук
по диссертации
НА СОИСКАНИЕ УЧЁНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК
аттестационное дело № _____
решение диссертационного совета от 11.06.2020 г. №

О присуждении Офенгейму Дмитрию Дмитриевичу, гражданину
Российской Федерации, учёной степени кандидата физико-математических
наук.

Диссертация «Модельно-независимый анализ эволюции нейтронных звёзд» в виде рукописи по специальности 01.03.02 – «астрофизика и звёздная астрономия» принята к защите 6 апреля 2020 г., протокол № 1 п. 1, диссертационным советом ФТИ 34.01.04 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Физико-технический институт А.Ф. Иоффе Российской академии наук, расположенном по адресу: 194021, Санкт-Петербург, Политехническая ул., д. 26. Диссертационный совет утверждён приказом ФТИ им. А.Ф. Иоффе №75 прил. 4 от 12 июля 2019 г.

Соискатель Офенгейм Дмитрий Дмитриевич, 1993 г.р., в 2016 году окончил магистратуру Санкт-Петербургского Академического университета по специальности 03.04.02 – «физика» и поступил в аспирантуру ФТИ им. А.Ф. Иоффе, год окончания – 2020, в настоящее время работает в должности исполняющего обязанности младшего научного сотрудника в секторе теоретической астрофизики Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук».

Диссертация выполнена в секторе теоретической астрофизики Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук».

Научный руководитель — Яковлев Дмитрий Георгиевич, доктор физико-математических наук, член-корреспондент Российской академии наук, заведующий сектором теоретической астрофизики в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук».

Официальные оппоненты:

1. Попов Сергей Борисович, доктор физико-математических наук, профессор Российской академии наук, ведущий научный сотрудник Отдела релятивистской астрофизики Государственного астрономического института

имени П.К. Штернберга Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова,

2. Коломейцев Евгений Эдуардович, кандидат физико-математических наук (PhD TU Dresden), ведущий научный сотрудник лаборатории теоретической физики Международной межправительственной организации Объединённый институт ядерных исследований,

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук в своём положительном заключении, подписанном ведущим научным сотрудником Отделения теоретической физики, доктором физико-математических наук, профессором Василием Семёновичем Бескиным, утверждённым директором ФИАН, член-корреспондентом РАН Колачевским Н.Н., указала, что содержание диссертации Д.Д. Офенгейма соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 01.03.02 — астрофизика и звездная астрономия, а диссертант Д.Д. Офенгейм заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук.

Выбор официальных оппонентов обосновывается тем, что один из них имеет учёную степень доктора физико-математических наук, а другой – учёную степень, полученную в иностранном государстве, признаваемую в Российской Федерации как эквивалентную степени кандидата физико-математических наук, они работают в различных организациях, не имеют других ограничений, накладываемых п. 3.7 действующего Положения о присуждении учёных степеней. Выбранные оппоненты являются широко известными специалистами и обладают высоким уровнем компетентности в научной области, в которой выполнена диссертационная работа, что подтверждается их публикациями в рецензируемых научных журналах.

Выбор ведущей организации обосновывается тем, что ФИАН им. П.Н. Лебедева широко известен своими достижениями в соответствующей отрасли науки. В частности, в этом институте ведутся теоретические исследования нейтронных звёзд, являющихся предметом исследования диссертационной работы. Кроме того, в ФИАН им. П.Н. Лебедева имеется диссертационный совет Д 002.113.02 по специальности 01.03.02 – «астрофизика и звёздная астрономия».

Соискатель имеет 16 опубликованных работ. В том числе по теме диссертации опубликовано 11 перечисленных ниже работ (*в скобках указан личный вклад соискателя*). Они опубликованы в рецензируемых научных изданиях, 10 из которых индексируются в международной системе цитирования Web of Science:

1. Neutrino luminosities and heat capacities of neutron stars in analytic form / D. D. Ofengeim, M. Fortin, P. Haensel et al. // Phys. Rev. D. — 2017. — Vol. 96, no. 4. — P. 043002. (*Построение аппроксимаций нейтринной светимости и теплоёмкости, анализ остывания девяти нейтронных звёзд на нейтринной стадии остывания, подготовка публикации*)
2. Ofengeim D. D., Yakovlev D. G. Analytic description of neutron star cooling // Mon. Not. R. Astron. Soc. — 2017. — Vol. 467, no. 3. — P. 3598–3603. (*Вывод приближённого аналитического решения уравнения остывания, анализ остывания звезды RX J1856–3754, подготовка публикации*)
3. Analysing neutron star in HESS J1731-347 from thermal emission and cooling theory / D. D. Ofengeim, A. D. Kaminker, D. Klochkov et al. // Mon. Not. R. Astron. Soc. — 2015. — Vol. 454. — P. 2668–2676. (*Построение аппроксимации функции остывания нейтронных звёзд, анализ остывания звезды XMMU J1732–344 на основе данных наблюдений, участие в подготовке публикации*)
4. Ofengeim D. D., Yakovlev D. G. Cooling status of three neutron stars // Journal of Physics Conference Series. — Vol. 932 of Journal of Physics Conference Series. — 2017. — Dec. — P. 012049. (*Анализ остывания звёзд RX J1856–3754, XMMU J1732–344 и пульсара Вела, подготовка публикации*)
5. Ofengeim D. D., Zyuzin D. A. Thermal spectrum and neutrino cooling rate of the Vela pulsar // Particles. — 2018. — Vol. 1, no. 1. — P. 194–202. (*Анализ результатов обработки наблюдений пульсара Вела с точки зрения теории остывания, подготовка публикации*)
6. XMM-Newton observations of a gamma-ray pulsar J0633+0632: pulsations, cooling and large-scale emission / A. Danilenko, A. Karpova, D. Ofengeim et al. // Mon. Not. R. Astron. Soc. — 2020. — Apr. — Vol. 493, no. 2. — P. 1874–1887. (*Анализ результатов наблюдений пульсара J0633+0632 с точки зрения теории остывания нейтронных звёзд, участие в подготовке публикации*)
7. Ofengeim D. D., Gusakov M. E., Kantor E. M. Quasistationary fluid motions in magnetized neutron stars // Journal of Physics Conference Series. — Vol. 1038. — 2018. — Jun. — P. 012009. (*Расчёт полоидальной компоненты скорости потока вещества в ядре нейтронной звезды с полоидальным магнитным полем, подготовка публикации*)
8. Ofengeim D. D., Gusakov M. E. Fast magnetic field evolution in neutron stars: The key role of magnetically induced fluid motions in the core // Phys. Rev. D. — 2018. — Vol. 98, no. 4. — P. 043007. (*Получение уравнений эволюции магнитного поля в ядре нейтронной звезды в терминах потоковой и токовой функций, расчёт квазистационарных течений в ядре нейтронной звезды с магнитным полем, подготовка публикации*)
9. Ofengeim D. D., Yakovlev D. G. Shear viscosity in magnetized neutron star crust // EPL (Europhysics Letters). — 2015. — Dec. — Vol. 112, no. 5. — P.

59001. *(Расчёт сдвиговой вязкости электронов в ядре нейтронной звезды с магнитным полем, участие в подготовке публикации)*
10. Bulk viscosity in neutron stars with hyperon cores / D. D. Ofengeim, M. E. Gusakov, P. Haensel, M. Fortin // Phys. Rev. D. — 2019. — Nov. — Vol. 100, no. 10. — P. 103017. *(Расчёт объёмной вязкости в ядре нейтронной звезды с гиперонами, участие в расчёте скоростей слабых безлептонных процессов в ядре, расчёт окон неустойчивости r-мод колебаний нейтронных звёзд с гиперонами, подготовка публикации)*
11. R-mode stabilization in neutron stars with hyperon cores / D. D. Ofengeim, M. E. Gusakov, P. Haensel, M. Fortin // Journal of Physics Conference Series. — Vol. 1400 of Journal of Physics Conference Series. — 2019. — Nov. — P. 022029. *(Расчёт объёмной вязкости в гиперонном ядре нейтронной звезды, расчёт окон неустойчивости r-мод колебаний такой звезды, подготовка публикации)*

На автореферат поступило два отзыва.

Отзыв от Дмитрия Николаевича Воскресенского, профессора, доктора физико-математических наук, главного научного сотрудника Лаборатории теоретической физики им. Н.Н. Боголюбова Объединённого института ядерных исследований, положительный и замечаний не содержит.

Отзыв от Дениса Алексеевича Байко, кандидата физико-математических наук, старшего научного сотрудника сектора теоретической астрофизики ФТИ им. А.Ф. Иоффе, положительный, содержит шесть замечаний:

1. На рис. 1 приводится сравнение аппроксимации и точного расчета энерговыделения в нейтрино за счет модифицированного урка-процесса в зависимости от массы НЗ в диапазоне от 1 до $2.8 M_{\odot}$ для 9 конкретных уравнений состояния (УС). Известно, что для многих УС при массе звезды, превышающей ок. $1.7 M_{\odot}$, разрешен прямой урка-процесс, который на много порядков мощнее и важнее модифицированного. Поэтому читателю было бы полезнее увидеть сравнение аппроксимации и точного расчета полного энерговыделения (прямой + модифицированный) для тех же УС. При этом нижняя панель графика по-прежнему позволила бы достоверно судить о точности аппроксимации.

2. На рис. 3 непонятно, что означает белый крест, а также не объяснено, почему автор не рассматривает область масс $<1 M_{\odot}$, куда явно продолжают белые контуры. Вызывает недоумение фраза «если максимальное теоретически допустимое значение f_{ℓ} окажется существенно ниже 100 (например, $f_{\ell} = 30$)». Представляется, что такое ограничение может возникнуть только при принципиально ином, чем сейчас, уровне понимания теоретиками всех аспектов сильного взаимодействия. Но даже принимая это

ограничение, согласно рис. 3, масса звезды окажется либо $>1.95 M_{\odot}$, так что включится прямой урка-процесс, что будет противоречить парадигме минимального остывания, либо окажется $<1 M_{\odot}$, что, по-видимому, также считается невероятным. Т.о., остается неясным, какие выводы о пульсаре Вела можно на самом деле сделать из рис. 3.

3. На рис. 4 нанесена точка, отвечающая факторам остывания, одновременно равным единице. Ввиду рис. 3 хотелось бы понять, какие масса и радиус выбраны для RX J1856-3754 и почему.

4. На том же рисунке в допустимую область, отмеченную двойной штриховкой, попадает значение $f_c = 1$ (т. е. нейтроны несверхтекучие) при $f_\ell = 30$, т. е. нейтринное энерговыделение существенно усилено. За счет чего оно может быть так усилено?

5. В главе 3 при расчете потоков несверхтекучих барионов не указано, накладывались ли какие-либо граничные условия на границе кора-ядро, и, если да, то влияют ли они на результат.

6. В заключении сказано, что автором проведен анализ остывания 12 НЗ с измеренными возрастами. Хочется отметить, что определение возраста НЗ, за исключением нескольких случаев, упомянутых в исторических хрониках, не является измерением в общепринятом смысле этого слова. Скорее, речь должна идти об оценках, выполненных с той или иной степенью правдоподобия.

Диссертационный совет отмечает, что в рамках выполненных соискателем исследований получен ряд результатов, важных для физики нейтронных звезд, а именно:

- Впервые получено приближённое аналитическое выражение для кривых остывания нейтронных звезд, позволяющее единым образом анализировать нейтринную и фотонную стадии остывания. Оно основано на аппроксимациях для нейтринной светимости и теплоёмкости нейтронных звезд удобными аналитическими функциями, предложенными соискателем. Полученные результаты позволили усовершенствовать анализ процессов остывания нейтронных звезд.
- Проведено исследование остывания ряда нейтронных звезд с помощью модельно-независимого метода, по результатам которого были получены ограничения на свойства сверхтекучести нуклонов в недрах звезды RX J1856–3754, уточнены аналогичные ограничения для звезды XMMU J1732–344 и пульсара в созвездии Парусов (пульсара Вела). На примере двух последних звезд исследована возможность применения теории остывания для одновременного ограничения массы и радиуса нейтронных звезд.
- Впервые произведён самосогласованный расчёт потоков вещества, вызываемых магнитным полем в ядре звезды, и продемонстрировано, что эволюция магнитного поля в ядрах нейтронных звезд с сильным магнитным полем (магнитаров) может в значительной степени определяться увлечением поля этими потоками.

- Впервые вычислены коэффициенты электронной сдвиговой вязкости в коре нейтронной звезды с сильным магнитным полем. Исследована зависимость этих коэффициентов от свойств вещества коры при различной силе магнитного поля.
- Впервые рассчитаны скорости полного набора слабых безлептонных процессов в веществе ядер нейтронных звёзд с Λ - и Ξ^- -гиперонами с учётом канала слабого взаимодействия за счёт обмена виртуальным мезоном. Вычислена объёмная вязкость вещества гиперонных ядер нейтронных звёзд за счёт этих процессов. Для полученных скоростей слабых безлептонных процессов и объёмной вязкости гиперонного вещества даны аналитические аппроксимации, универсальные для различных гиперонных уравнений состояния сверхплотного вещества. Данные результаты применены для расчёта окон неустойчивости r -мод колебаний нейтронных звёзд с гиперонами. Впервые показано, что учёт канала обмена виртуальным мезоном может позволить добиться устойчивости этих колебаний по отношению к излучению гравитационных волн для нейтронных звёзд в маломассивных рентгеновских двойных системах

Научная и практическая значимость исследования обоснована тем, что полученные результаты могут быть использованы в целом ряде различных областей физики и астрофизики нейтронных звёзд. Например, разработанный модельно-независимый метод анализа остывающих нейтронных звёзд полезен при интерпретации их наблюдений и позволяет делать выводы о параметрах сверхтекучести и уравнения состояния вещества в недрах наблюдаемых звёзд, а также об их массах и радиусах. Расчёт потоков вещества, обусловленных магнитным полем, является важным шагом на пути к построению самосогласованной модели магнитной и магнито-тепловой эволюции нейтронных звёзд. Расчёты сдвиговой вязкости электронов в замагниченной коре нейтронных звёзд и объёмной вязкости их гиперонных ядер могут быть использованы в широком классе задач, связанных с колебанием и дифференциальным вращением нейтронных звёзд.

Достоверность результатов обеспечена тем, что они получены с помощью надёжных математических и вычислительных методов в рамках адекватных физических приближений с чётко сформулированными критериями применимости. Там, где возможно, выполнено сравнение с результатами предшествующих исследований.

Личный вклад соискателя состоял во включенном участии в решении всех поставленных задач, формулировке выводов и подготовке публикаций.

Диссертация Офенгейма Д.Д. является законченным научным исследованием, вносящим существенный вклад в астрофизику нейтронных звёзд.

На заседании 11 июня 2020 года диссертационный совет принял решение присудить Офенгейму Д.Д. учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 12 человек, из них 8 докторов по специальности 01.03.02 – «астрофизика и звёздная астрономия», участвовавших в заседании, из 18 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 12, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель
диссертационного совета,
доктор физ.-мат. наук

Левшаков Сергей Анатольевич

Учёный секретарь
диссертационного совета,
кандидат физ.-мат. наук

Штернин Пётр Сергеевич