

ՀՀ ԿՐԹՈՒԹՅԱՆ ԵՎ ԳԻՏՈՒԹՅԱՆ ՆԱԽԱՐԱՐՈՒԹՅՈՒՆ  
ԵՐԵՎԱՆԻ ՊԵՏԱԿԱՆ ՀԱՄԱԼՍԱՐԱՆ

ԱԼԱՎԵՐԴՅԱՆ ԱՆԻ ԳՐԻԳՈՐԻ

ՏԱՐՈՐԻՆԱԿ ԱՍՏՂԵՐԻ ԴԻՏՈՂԱԿԱՆ ԴՐՄԵՎՈՐՈՒՄՆԵՐԸ

Ա.04.02 - «Տեսական Ֆիզիկա» մասնագիտությամբ  
ֆիզիկամաթեմատիկական գիտությունների թեկնածուի  
գիտական աստիճանի հայցման ատենախոսության

ՍԵՂՍԱԳԻՐ

ԵՐԵՎԱՆ 2017

---

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РА  
ЕРЕВАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

АЛАВЕРДЯН АНИ ГРИГОРЕВНА

НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ  
СТРАННЫХ ЗВЕЗД

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук по специальности  
01.04.02 – “Теоретическая физика”

ЕРЕВАН 2017

Ատենախոսության թեման հաստատվել է Երևանի պետական համալսարանում

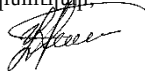
|                            |  |
|----------------------------|--|
| Գիտական ղեկավար՝           | Ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր,<br>Գ. Ս. Հաջյան   |
| Պաշտոնական ընդդիմախոսներ՝  | Ֆիզմաթ. գիտ. դոկտոր, պրոֆեսոր, ՀՀ<br>ԳԱԱ թղթակից անդամ Ռ. Ս. Ավագյան<br>Ֆիզմաթ. գիտ. թեկն, դոցենտ<br>Ս. Վ. Հայրապետյան |
| Առաջատար կազմակերպություն՝ | ՀՀ ԳԱԱ ֆիզիկայի կիրառական<br>Պրոբլեմների ինստիտուտ   |

Ատենախոսության պաշտպանությունը տեղի կունենա 2017թ. հուլիսի 1-ին ժամը 12:00-ին, Երևանի պետական համալսարանում գործող Ֆիզիկայի 049 Մասնագիտական խորհրդի նիստում (0025, Երևան, Ա.Մանուկյան փ. 1, ԵՊՀ):

Ատենախոսությանը կարելի է ծանոթանալ ԵՊՀ գրադարանում:

Սեղմագիրն առաքված է 2017թ. մայիսի 30-ին:

049 Մասնագիտական խորհրդի գիտական քարտուղար,  
Ֆիզմաթ. գիտ. թեկնածու, դոցենտ



Վ.Պ.Քալանթարյան

---

Тема диссертации утверждена в Ереванском государственном университете

|                        |   |
|------------------------|---|
| Научный руководитель:  | доктор физ.-мат. наук, профессор<br>Г. С. Аджян   |
| Официальные оппоненты: | доктор физ.-мат. наук, профессор,<br>член-корреспондент НАН РА<br>Р. М. Авагян<br>канд. физ.-мат. наук, доцент<br>М. В. Айрапетян |
| Ведущая организация:   | Институт прикладных проблем физики<br>НАН РА  |

Защита диссертации состоится 1-ого июля 2017г. в 12:00 часов на заседании Специализированного совета 049 по Физике при Ереванском государственном университете (0025, Ереван, ул. А. Манукяна 1, ЕГУ).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ЕГУ.

Автореферат разослан 30-ого мая 2017г.

Ученый секретарь Специализированного совета 049  
кандидат физ.-мат. наук, доцент



Վ.Պ. Կալանթարյան

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

В 2024 году, исполнится ровно 100 лет как была открыта первая сверхплотная звезда - белый карлик 40 Эридан В [1]. Первые же оценки средней плотности вещества в этой звезде дали значение  $\sim 10^6 \text{ г/см}^3$ . Именно с этого открытия начинается эпоха сверхплотной астрофизики. Эта область науки напрямую связана с ядерной физикой, физикой элементарных частиц и общей теорией относительности. Бурное развитие сверхплотной астрофизики началось в 60-ые годы прошлого века. В Советском Союзе, в Армении исследования в этой области проводились под руководством В.А. Амбарцумяна и Г.С. Саакяна, а в Москве - в группе Я.Б. Зельдовича. Эти две научные группы наравне с зарубежными учеными, часто и опережая их, получили фундаментальные результаты в этой области [2, 3].

С открытием пульсаров [4] сверхплотная астрофизика стала одним из мощных средств для проверки фундаментальных результатов теории элементарных частиц и ядерной физики.

***Актуальность работы.*** Экспериментальная проверка современных представлений о “кирпичиках” материи требует огромные затраты. Если Большой Адронный Коллайдер был построен средствами нескольких государств, то следующий, более могучий ускоритель, наверно можно будет построить только усилиями всех стран Земли. Многие проявления сверхплотных небесных тел можно предугадать на основе физических теорий и гипотез. Так как проверка этих теорий на земле не доступна, то сравнивая наблюдательные данные с результатами теоретических расчетов, можно подтвердить или отвергнуть эти теории и гипотезы.

Свойства сплошной кварковой материи определяются сильными взаимодействиями. Обнаружение проявлений кварковой материи в небесных телах и

сопоставление наблюдательных данных с соответствующими теоретическими результатами даст возможность преодолеть трудности теории. Именно с этой точки зрения актуальна тема настоящей диссертации.

***Цель диссертации*** определение уравнения состояния и композитного состава горячего кваркового вещества, определение интегральных параметров горячих кварковых звезд, изучение поведения параметров горячей кварковой звезды при ее остывании, определение дефекта массы и исследование устойчивости горячих кварковых звезд, определение зависимости радиуса от массы для кислородных, углеродных и магниевых странных карликов и сравнение этих параметров с параметрами белых карликов с такими же химическими составами, выявление наивероятных кандидатов в странные карлики среди наблюдаемых белых карликов.

***Научная новизна.*** В диссертационной работе определены композитный состав и уравнение состояния горячего кваркового вещества. Вычислены интегральные параметры горячих кварковых звезд. Вычислены дефект масс и исследована устойчивость кварковых звезд. Определен характер изменения радиуса кварковых звезд при их остывании. Вычислены интегральные параметры углеродных, кислородных и магниевых странных карликов. Показано, что только по массе и по радиусу отличить такие странные карлики от белых карликов невозможно.

***Основные положения, выносимые на защиту.***

1. Уравнение состояния и композитный состав горячего странного кваркового вещества.
2. Зависимость интегральных параметров горячих странных звезд от центральной температуры этих звезд.

3. Применимость статического критерия устойчивости к горячим кварковым звездам.
4. Дефект массы горячих кварковых звезд и их устойчивость.
5. Характер изменения радиуса кварковой звезды при ее остывании.
6. Выявление таких звезд среди белых карликов звездного неба.

**Апробация работы.** Полученные результаты обсуждались на семинарах кафедры теории волновых процессов и физики, кафедры теоретической физики и кафедры общей физики и астрофизики Ереванского Государственного Университета. Полученные результаты были представлены на международных конференциях:

“The modern Physics of Compact Stars and Relativistic Gravity”, 18-21 sept., 2013, Yerevan, Armenia.

“The modern Physics of Compact Stars and Relativistic Gravity”, 30 sep. – 03 oct., 2015, Yerevan, Armenia.

**Публикации.** По результатам диссертации опубликовано 7 статей, список которых приведен в конце автореферата.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы из 116 наименований публикаций. Объем диссертации 114 страниц, включая иллюстративный материал из 21 рисунков и 12 таблиц.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**В первой главе** диссертационной работы в температурной области  $kT \leq 100$  МэВ найдены термодинамические характеристики, уравнение состояния и композитный состав горячего странного кваркового вещества (HSQM). Исследования проведены в рамках модели мешка холодного сплошного

кваркового вещества, разработанной в Массачусетском технологическом институте [5, 6]. Учитывается рождение электрон-позитронных пар.

В §1.1 кратко представлена модель кваркового мешка MIT, приведены выражения термодинамических потенциалов кварков [6] в холодной кварковой материи.

В §1.2 в первом приближении по  $(kT/\mu_i)^2$  ( $k$  – постоянная Больцмана,  $\mu_i$  – химические потенциалы кварков) [7], получены выражения для химических потенциалов кварков  $\mu_i$  ( $i = u, d, s$ ). Массы  $u$  и  $d$  кварков считаются равными нулю. Масса странного  $s$  кварка учтена в приближении  $(m_s/\mu_s)^2$ .

В §1.3 с учетом рождения электрон – позитронных пар, из требования равновесия по  $\beta$  процессам и сохранения электрического и барионного зарядов получены уравнения, которые при данной плотности барионного числа  $n$  и температуры  $T$  определяют химические потенциалы частиц в HSQM [8]:

$$Y - X - \frac{\pi^2}{3} \Theta^2 \left( \frac{1}{Y} - \frac{1}{X} \right) = Z, \quad (5)$$

$$X^3 + Y^3 + Z^3 \left[ 1 - \left( \frac{\beta}{Y} \right)^2 \right]^{3/2} = 3, \quad (6)$$

$$X^3 - 1 = \Theta^3 \left( \Phi \left( \frac{Z}{\Theta} \right) - \Phi \left( -\frac{Z}{\Theta} \right) \right), \quad (7)$$

$$\Phi(y) = \int_0^{\infty} [x^2 / (1 + \exp(x - y))] dx, \quad (8)$$

где введены обозначения

$$X = \frac{\mu_{ou}}{\mu_0}, \quad Y = \frac{\mu_{od}}{\mu_0}, \quad Z = \frac{\mu_{os}}{\mu_0}, \quad \Theta = \frac{T}{\mu_0}, \quad \beta = \frac{m_s}{\mu_0}, \quad \mu_0 = (\pi^2 n)^{1/3}. \quad (9)$$

В §1.4 на основе модели мешка MIT найдена зависимость давления  $P$  и плотности энергии  $\varepsilon$  HSQM от плотности барионного заряда  $n$  и температуры  $T$ . В обозначениях §1.2 получено

$$\varepsilon = 3P + \frac{\mu_0^4}{2\pi^2} \beta^2 Y^2 + 4B, \quad (10)$$

$$P = \frac{1}{3}\epsilon - \frac{\mu_0^4}{6\pi^2}\beta^2\gamma^2 - \frac{4}{3}B. \quad (11)$$

В приближении нулевой массы странного  $s$  кварка ( $m_s = 0$ ,  $\beta = 0$ ) давление  $P$  и плотность энергии  $\epsilon$  связаны однозначным образом, т.е. в эту зависимость температура  $T$  явным образом не входит. Для данного значения плотности барионного заряда  $n$  и температуры  $T$  решением уравнения (5)-(7) определяются химические потенциалы кварков и лептонов, с помощью которых вычисляются значения давления, энергии и концентрации всех частиц [8]. В холодном SQM количество электронов в  $10^6 - 10^7$  раз меньше, чем количество кварков, а позитроны вообще отсутствуют. В HSQM количество электронов резко возрастает с повышением температуры и при  $T \sim 100$  МэВ в HSQM в зависимости от плотности  $n$  на 10-1000 кварков в среднем уже приходится один электрон [8]. При этом число пар составляет 80% от общего числа электронов [8].

Относительное отклонение уравнения состояния (10) (11)  $\Delta$  от закона  $\epsilon = 3P + 4B$  меньше 0.04. Это отклонение обусловлено наличием массы у  $s$  кварка и слабо зависит от температуры.

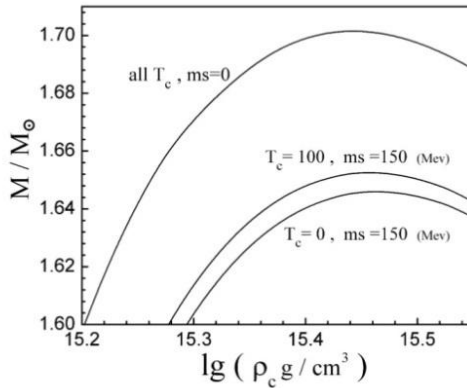
**Во второй главе** определены интегральные параметры равновесных горячих сверхплотных небесных тел, целиком состоящих из странного кваркового вещества – горячих кварковых звезд (HQS) [9, 10]. Определяется зависимость от температуры характерных величин (концентрации кварков, электронов, и энергия системы, приходящаяся на единицу барионного заряда) HSQM на свободной поверхности QS [11].

Определяется характер изменения радиусов HQS в ходе остывания [9,10].

В §2.1 определены интегральные параметры HQS. Равновесные состояния изотермических HQS определяются уравнением Толмена-Опенгеймера-Волкова (TOV), уравнением поля для временной метрической компоненты  $g_{00} = \exp(\nu)$  и условием изотермичности  $T(r)\sqrt{g_{00}} = const$  [9,10]. Теплопроводность вырожденного вещества настолько высока [7], что HQS можно считать

изотермическими. Расчеты проведены для численных значений параметров мешка MIT  $\alpha_c = 0, m_s = \{0; 150\}$  МэВ,  $B = \{70; 80\}$  МэВ / фм<sup>3</sup>.

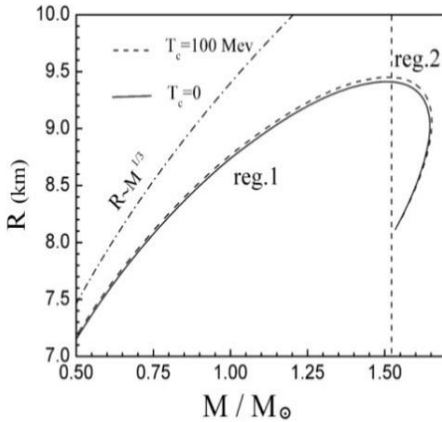
На рис.1 показана зависимость массы звезды от центральной плотности  $\rho_c = \varepsilon_c / c^2$  для холодных ( $T_c = 0$ ) и изотермических ( $kT_c = 100$  МэВ) кварковых звезд, т.е. кривые  $M = M(\rho_c, T_c)$ . Аналогичные серии для  $kT_c < 100$  МэВ лежат между этими кривыми и не показаны из-за их близости. По этой же причине на рис.1 показана только узкая область максимальной массы.



**Рис.1.** Зависимость массы от центральной плотности для изотермических кварковых звезд при различных значениях центральной температуры  $T_c$  и массы странного кварка  $m_s$ . В приближении  $m_s = 0$  холодные и горячие кварковые звезды лежат на одной и той же кривой [9,10].

Как и следовало ожидать, если  $T_{c2} > T_{c1}$ , то  $M(\rho_c, T_{c2}) > M(\rho_c, T_{c1})$ . Интегральные параметры (масса  $M$ , барионный заряд  $N$ , радиус  $R$  и поверхностная температура  $T_R$ ) изотермических кварковых звезд для различных центральных температур и плотностей в диссертации приведены в виде таблиц. На рис.2 показаны зависимости радиусов  $R$  холодных и горячих ( $kT_c = 100$  МэВ) QS от массы звезды  $M$ . Серии  $kT_c < 100$  МэВ лежат между этими кривыми.

Близость этих кривых обусловлена слабой зависимостью давления HSQM от температуры при постоянной плотности энергии [8], т.к. в уравнения Толмена – Оппенгеймера - Волкова (ТОВ) входят только плотность энергии и давление.



**Рис. 2.** Зависимость радиус-масса для изотермических кварковых звезд с уравнением состояния (10) и (11) [11]. Сплошная кривая и близкая к ней пунктирная кривая соответствуют холодным и горячим с  $kT_c = 100$  МэВ сериям кварковых звезд, соответственно. Приводится также зависимость радиуса QS от массы при “выключенной” гравитации ( $R \sim M^{1/3}$ ) (кривая точка-тире).

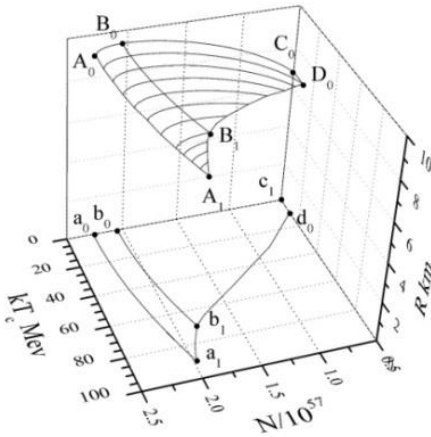
**В §2.2** определены физические характеристики на свободной поверхности HQS [11]. Для заданных значений плотности барионного числа  $n$  и температуры  $T$  уравнения (5)-(7) определяют химические потенциалы и концентрации всех частиц. Если HSQM является самосвязанной, то условием  $P(n, T) = 0$  определяются концентрация барионного числа  $n_0$  и все термодинамические характеристики на свободной поверхности этого вещества при температуре  $T$ , то есть характеристики HSQM на поверхности HQS. Если же HSQM не самосвязанна, то этим определяются характеристики HSQM в окрестности точки фазового равновесия с барионным веществом [6]. Как и следовало ожидать, чем выше температура HSQM, тем ниже плотность кварков  $n_0$  на поверхности HQS.

**В §2.3** исследуется характер изменения радиуса HQS при остывании. При остывании масса уменьшается из-за энергетических потерь. Временная зависимость параметров HQS определяется этими потерями. Физический интерес представляют только устойчивые конфигурации. В [12] показано, что на кривой

$M = M(\rho_c, T_c = \text{const})$  точка потери устойчивости находится настолько близко к максимуму этой кривой, что в качестве границы устойчивости HQS в первом приближении максимумы изотермических серий можно считать границей устойчивости этих звезд.

Не рассматривая временные зависимости интегральных параметров HQS, определен характер изменения радиуса звезды при ее остывании.

На рис. 3 в трехмерном пространстве барионный заряд, центральная температура, радиус  $(N, T_c, R)$  показана поверхность  $R = R(N, T_c)$  устойчивых HQS. На этой поверхности показаны зависимости  $R = R(N, T_c = \text{const})$ : параллельные кривые, а также кривая  $B_0B_1$ , на которой расположены максимальные радиусы этих серий.



**Рис. 3.** Зависимость радиуса изотермических HQS от барионного заряда  $N$  и центральной температуры  $T_c$ . Показана только область устойчивых звезд [11].

Граница  $A_0A_1$ , соответствует максимумам масс изотермических серий HQS, а  $A_1B_1D_0$  определяется условием  $\varepsilon(n_c, T) - m_n c^2 = 0$  на поверхности HQS. Проекция этих кривых на плоскости является  $b_0b_1, a_0a_1$  и  $a_1b_1d_0$ . Так как при остывании полный барионный заряд  $N$  не изменяется, то сечение поверхности

$R = R(N, T_c)$  с плоскостью  $N = \text{const}$  является траекторией HQS на этой поверхности при ее остывании.

Из рис.3 видно, что значения максимальных радиусов  $R_{\text{max}}(T_c)$  всех изотермических серий очень близки. Примем все  $R_{\text{max}}$  одинаковыми. Обозначим барионные заряды HQS в точках  $B_1$  и  $B_0$  соответственно  $N_{B1}$  и  $N_{B0}$ . Если барионный заряд  $N \leq N_{B1}$ , то траектория этой звезды на поверхности  $R = R(N, T_c)$  не пересекает кривую максимумов  $B_0B_1$ . При остывании такие звезды только сжимаются. Если  $N > N_{B0}$ , то траектории таких HQS тоже не пересекают кривую  $B_0B_1$ , однако они только расширяются. По другому ведут себя HQS, для которых  $N_{B1} < N < N_{B0}$ . Траектории этих звезд пересекают кривую максимумов  $B_0B_1$ . До пересечения HQS расширяется, а после пересечения - сжимается.

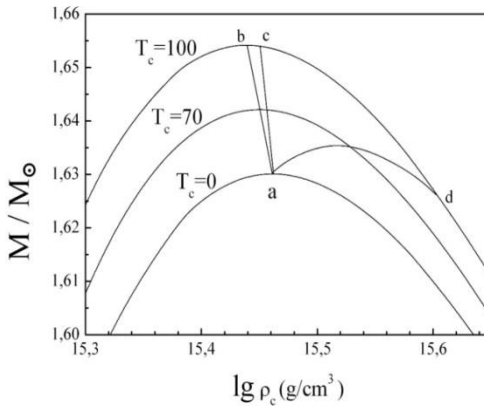
*В третьей главе* статическим критерием устойчивости [3,7] определяется устойчивость HQS [12]. Вычисляется дефект массы HQS [13].

В §3.1 показано, что с точностью 4% изотермическая HQS является изоэнтропической [12]. Это дает возможность для определения устойчивости HQS применить статический критерий устойчивости.

В §3.2 численным интегрированием уравнений равновесия, массы, барионного заряда и поля  $g_{00}$  построены изоэнтропические и изотермические серии HQS [12]. По результатам численных расчетов для трех значений температуры  $T_c$  на рис.4. на кривых  $M = M(\rho_c, T)$  показаны точки максимумов массы  $M$  (линия  $ab$ ), точки потери устойчивости (линия  $ac$ ) и точки максимумов барионной массы  $M_0$  (линия  $ad$ ). Как видно из рис.4, точки максимумов массы и потери устойчивости изотермических серий очень близки.

В §3.3 вычислены дефект массы изотермических и изоэнтропических HQS  $\Delta M = M_0 - M$  [13]. Для определения устойчивости HQS определена

зависимость гравитационной массы звезды  $M$  от  $M_0$ . Дается подробный анализ этих кривых.



**Рис. 4.** Зависимость массы от центральной плотности холодных и горячих кварковых звезд. У кривых указаны значения центральной температуры в МэВ-ах. На кривых  $ab$  и  $ad$  соответственно масса и барионное число каждой серии максимальны. На кривой  $ac$  происходит потеря устойчивости серии.

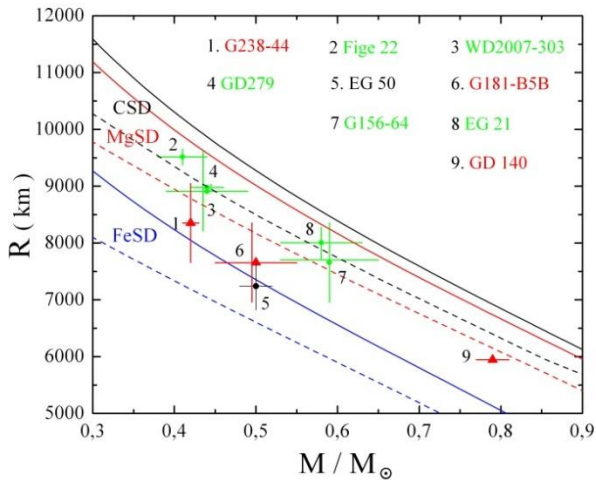
**В четвертой главе** рассматриваются вопросы проявления кварковой материи в астрофизических объектах [14].

В §4.1 дается краткое описание странных карликов.

В §4.2 теоретические расчеты показывают, что на плоскости  $M - R$  ниже кривой  $M = M(R)$ , соответствующей железным белым карликам, иные белые карлики не существуют [6,15]. В [15] показано, что странные карлики, у которых электронно-ядерное вещество содержит только атомные ядра железа, на плоскости  $M - R$  расположены ниже кривой  $M = M(R)$  железных белых карликов.

В §4.3 приводятся результаты численных расчетов по определению интегральных параметров странных карликов. Рассмотрены странные карлики, которые содержат атомные ядра только одного сорта изобаров. Результаты численных расчетов приведены на рис. 5.

В §4.4 по результатам §4.3 на плоскости масса – радиус определены области нахождения белых и странных карликов. На рис. 5 приведена зависимость радиуса углеродных, магниевых и железных белых карликов от их массы (кривые  $R = R(M)$ ) (углеродные – черные, магниевые – красные, железные – синие сплошные линии). В отличие от белых карликов, на плоскости  $M - R$  странные карлики заполняют отдельные полосы ( $C$  – углеродная,  $Mg$  – магниевая и  $Fe$  – железная полосы). Кривая  $R = R(M)$  белых карликов с заданным химическим составом является верхней границей соответствующей полосы странных карликов.



**Рис.5.** Зависимость радиуса от массы для углеродных, магниевых и железных белых карликов (сплошные линии). Пунктирные линии соответствуют нижним предельным конфигурациям странных карликов. Наблюдательные данные о белых карликах показаны точками с указанием погрешностей измерений [16].

Результаты расчетов показывают, что независимо от химического состава при одинаковой массе радиусы белых и странных карликов отличаются незначительно. Так, для углеродных и магниевых белых карликов с массами  $M = 0.5 M_{\square}$  отношение разности радиусов на радиус звезды не превосходит значение 0,09. Это обстоятельство делает белые карлики и странные карлики по внешним характеристикам почти неразличимыми.

На рис. 5 помимо кривых  $M = M(R)$  для углеродных, магниевых и железных белых карликов показаны также местоположения девяти белых карликов из данных [16]. Отметим, что только сравнивая массы и радиусы белых и странных карликов невозможно однозначно определить принадлежность этих звезд к белым или странным карликам. Единственной звездой, которую можно считать наивероятным кандидатом в странные карлики, является EG 50. Что касается звезд Fige 22, WD 2007-303, GD 279, G156-64, EG 21 и GD 140 рис.5, то по характеристикам радиус-масса их идентифицировать как странные карлики невозможно.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей диссертационной работе полученные основные результаты сводятся к следующему:

1. Исходя из уравнения состояния холодной странной кварковой материи, полученного в рамках модели мешка MIT, построено уравнение состояния горячей странной кварковой материи. Показано, что в приближении нулевой массы странного кварка давление  $P$  кварковой материи зависит только от плотности энергии  $\epsilon = \rho c^2$  этой материи:  $P = P(\epsilon)$ . При ненулевой массе  $s$  кварка давление кварковой материи зависит как от плотности энергии, так и явно от температуры:  $P = P(\epsilon, T)$ . Однако отличие этого уравнения от вида  $P = P(\epsilon)$  не превосходит четырех процентов.
2. Если в холодной SQM количество электронов на 6-7 порядков меньше, чем количество кварков, то в горячей SQM чем выше температура, тем больше электронов. При  $T \sim 100 \text{ МэВ}$  в HSQM в зависимости от плотности  $n$  на 10-1000 кварков в среднем уже приходится один электрон.
3. В HSQM рождаются электрон-позитронные пары. Число этих пар в зависимости от температуры может достичь до 80% от общего числа электронов.
4. Кривые масса-центральная плотность изотермических серий с учетом и без учета массы  $s$  кварка очень близки.
5. Энергия на единицу барионного заряда достаточно сильно зависит от температуры. При повышении температуры самосвязанная HSQM на поверхности может стать несамосвязанной. Это накладывает дополнительное ограничение на поверхностную температуру  $T_R$  странной кварковой звезды.
6. В зависимости от полного барионного заряда кварковой звезды с начальной центральной температурой ( $kT_c \approx 80 \div 100 \text{ МэВ}$ ) остывание приводит к

трем разным сценариям эволюционного изменения звезды: 1) звезда монотонно сжимается, 2) звезда монотонно расширяется, 3) звезда сначала расширяется, а потом сжимается.

7. Зависимости массы и дефекта массы изоэнтропических серий кварковых звезд от барионной массы по характеру совпадают с соответствующими зависимостями холодных кварковых звезд.
8. Показано, что на плоскости масса-радиус в той области, где находятся белые карлики, странные карлики тоже могут находиться. Определить принадлежность наблюдаемой звезды из этой области к белым или к странным карликам только по радиусу и по массе невозможно.

#### СПИСОК ЦИТИРУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Adams W.S., "The Spectrum of the Companion of Sirius", Pub. Astron. Soc. Pac. **27**, 236, 1915.
2. Саакян Г. С., "Равновесные конфигурации вырожденных газовых масс", Наука, М., 1972.
3. Зельдович Я.Б., Новиков И.Д., Релятивистская астрофизика, Москва, Наука 1967.
4. Hewish A., Bell S.J., Pilkington J.D.H., Scott P.F., Collins R. A. "Observation of a Rapidly Pulsating Radio Source", Nature, **217**, 709, 1968.
5. Farhi E., Jaffe R.L., "Strange matter", Phys. Rev. D **30**, 2379, 1984.
6. Glendenning N. K., Nuclear Physics, Particle Physics and General Relativity, Berkeley, California: Springer, 1996.
7. Бисноватый – Коган Г. С., Физические вопросы теории звездной эволюции, Мисква, Наука 1989.
8. Аджян Г.С., Алавердян А.Г., "Горячие странные звезды. I. Уравнение состояния горячего кваркового вещества", Астрофизика, **57**, 601, 2014.

9. Alaverdyan A.G., Hajyan G.S., “On the Radii of Hot Strange Stars”, *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. **496**, Issue 1, article id. 012005 (2014).
10. Аджян Г.С., Алавердян А.Г., “Горячие странные звезды. II. Численные результаты и обсуждение”, *Астрофизика*, **58**, 91, 2015.
11. Alaverdyan A.G., “Characteristics of Free Surface of Hot Strange Quark Matter”, *Proceedings of The Yerevan State University*, **3**, 6, 2016.
12. Аджян Г.С., Алавердян А.Г., “Горячие странные звезды. III. Устойчивость”, *Астрофизика*, **58**, 311, 2015.
13. Аджян Г.С., Алавердян А.Г., “Горячие странные звезды. IV. Дефект массы и устойчивость”, *Астрофизика*, **58**, 421, 2015.
14. Vartanyan Yu.L., Hajyan G.S., Alaverdyan G.B., Grigoryan A.K., Harutyunyan A.R., Alaverdyan A.G., Shahinyan H.A., “Strange quark matter in compact stars”, *Proceedings of Science, POS (MPCS 2015) 006* (15 pages), 2016.
15. Вартамян Ю.Л., Аджян Г.С., Григорян А.К., Саркисян Т.Р., “Долина устойчивости странных карликов”, *Астрофизика*, **55**, 113, 2012.
16. Provencal, Shipman H.L., Erik Hog., Thejll P., “Testing the White Dwarf Mass-Radius Relation with HIPPARCOS”, *Ap. J.*, **494**, 759, 1998.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Alaverdyan A.G., Hajyan G.S., “On the Radii of Hot Strange Stars”, *Journal of Physics: Conference Series*, **496**, Issue 1, article id. 012005, 2014.
2. Аджян Г.С., Алавердян А.Г., “Горячие странные звезды. I. Уравнение состояния горячего кваркового вещества”, *Астрофизика*, **57**, 601-611, 2014.
3. Аджян Г.С., Алавердян А.Г., “Горячие странные звезды. II. Численные результаты и обсуждение”, *Астрофизика*, **58**, 91-103, 2015.
4. Аджян Г.С., Алавердян А.Г., “Горячие странные звезды. III. Устойчивость”, *Астрофизика*, **58**, 311, 2015.
5. Аджян Г.С., Алавердян А.Г., “Горячие странные звезды. IV. Дефект массы и устойчивость”, *Астрофизика*, **58**, 421, 2015.
6. Vartanyan Yu.L., Hajyan G.S., Alaverdyan G.B., Grigoryan A.K., Harutyunyan A.R., Alaverdyan A.G., Shahinyan H.A., “Strange quark matter in compact stars”, *Proceedings of Science, POS (MPCS 2015) 006* (15 pages), 2016.
7. Alaverdyan A.G., “Characteristics of Free Surface of Hot Strange Quark Matter”, *Proceedings of The Yerevan State University*, **3**, 6-10, 2016.

ՏԱՐՕՐԻՆԱԿ ԱՏՏՂԵՐԻ ԴԻՏՈՂԱԿԱՆ ԴԻՄԵՎՈՐՈՒՄՆԵՐԸ

ԱՄՓՈՓԱԳԻՐ

**Հանգուցային բառեր.** Ջերմ քվարկային նյութ, ջերմ տարօրինակ աստղեր, տարօրինակ թզուկներ, աստղի կայունությունը:

Գերխիտ աստղերի ֆիզիկան գիտական տարբեր բնագավառների խաչմերուկ է: Ուժեղ փոխազդող մասնիկների՝ քվարկներից կազմված լինելու վերաբերյալ պատկերացումների ձևավորման հետ միասին ծնվեց քվարկային աստղերի գաղափարը: Տարրական մասնիկների ֆիզիկայի և միջուկային ֆիզիկայի նոր գաղափարներն ու ձեռքբերումները անմիջապես իրենց կիրառումն են գտնում գերխիտ երկնային մարմինների՝ մասնավորաբար քվարկային աստղերի, դիտողական դրսևորումներում: Քվարկային աստղերի գործիքային գրանցումը կարող է ծառայել որպես այդ գաղափարները հաստատող փաստարկ: Հենց այս իմաստով են շատ կարևոր երկնային մարմինների ֆիզիկայի ոլորտում իրականացվող տեսական հետազոտությունները:

Ատենախոսությունը նվիրված է աստղերում քվարկային նյութի որոշ դրսևորումների ուսումնասիրությանը: Աշխատանքում ուսումնասիրված են ջերմ տարօրինակ քվարկային (ՋՏՔ) նյութի բաղադրամասնիկային կազմը, վիճակի հավասարումը, ջերմ քվարկային աստղերի մեխանիկական հավասարակշռության ու կայունության, զանգվածի դեֆեկտի (պակասորդի) խնդիրները: Ուսումնասիրված են նաև հարցեր կապված սպիտակ թզուկներ համարվող դիտված օբյեկտներից տարօրինակ թզուկների հավանական թեկնածուների առանձնացման հետ:

***Ատենախառությունում ստացված հիմնական գիտական արդյունքները հետևյալն են.***

1. Սառը քվարկային նյութի պարկի MIT մոդելի հիման վրա որոշված է ՋՏՔ նյութի բաղադրամասնիկային կազմը և վիճակի հավասարումը: Ցույց է տրված, որ  $10^{12}$  Կ ջերմաստճանում ՋՏՔ նյութում էլեկտրոնների թիվը սառի նկատմամբ 3-5 կարգով ավելի է, իսկ ծնված էլեկտրոն-պոզիտրոնային զույգերի թիվը կազմում է էլեկտրոնների թվի մինչև 80 %:
2. ՋՏՔ նյութի ճնշումը էներգիայի խտության սովյալ արժեքի դեպքում ունի թույլ ջերմաստճանային կախվածություն:
3. ՋՏՔ աստղի զանգված-կենտրոնական խտություն և շառավիղ-զանգված կախվածությունների կորերը շատ քիչ են տարբերվում սառը քվարկային աստղերի համապատասխան կորերից:
4. ՋՏՔ աստղերի մակերևութի վրա քվարկների կոնցենտրացիան ջերմաստիճանի մեծացմանը զուգընթաց նվազում է:
5. Կախված բարիոնային զանգվածից և սկզբնական ջերմաստիճանից ( $\sim 10^{12}$  Կ) ՋՏՔ աստղը սառչելիս կարող է՝ 1) մոնոտոն սեղմվել, 2) մոնոտոն ընդարձակվել, 3) սկզբում ընդարձակվել, իսկ հետո սեղմվել:
6. Կայունության ստատիկ հայտանիշի օգտագործմամբ հետազոտվել է ՋՏՔ աստղերի կայունությունը: Որոշվել է զանգվածի դեֆեկտը (պակասորդը):
7. Ցույց է տրված, որ աստղի զանգված-շառավիղ արժեքների բազմության տիրույթում, որտեղ դիտվում են սպիտակ թզուկները, տարօրինակ թզուկներ նույնպես կարող են լինել: Այդպիսի օբյեկտները հնարավոր չէ տարբերակել ունենալով միայն շառավիղ և զանգված բնութագրերի արժեքների զույգը:

ANI ALAVERDYAN

OBSERVATIONAL MANIFESTATIONS OF STRANGE STARS

SUMMARY

**Keywords: hot quark matter, hot strange stars, strange dwarfs, stability of stars.**

Physics of superdense stars is a crossroad of various science fields. The idea of quark stars was put forth along with the vision of the quark structure of strongly interacting particles. New ideas and achievements in the field of elementary particle physics and nuclear physics immediately found their application in the observational manifestations of superdense celestial bodies, particularly, of quark stars. Instrumental registration of quark stars can serve as an argument confirming these ideas. In this sense, the theoretical research conducted in the field of physics of celestial bodies is very important.

The dissertation is devoted to the study of several manifestations of quark matter in stars. In the work, the constituent composition and the equation of state of hot strange quark (HSQ) matter, as well as the issues of mass defect, mechanical equilibrium and the stability of hot quark stars, are investigated. Problems related to the identification of probable candidates for strange dwarfs from the observed objects which are believed as white dwarfs, were also investigated.

**The main scientific results obtained in the thesis are the followings:**

1. Based on the bag model for cold quark matter, the constituent composition and the equation of state of hot strange matter are determined. It is shown

that in the HSQ matter at a temperature of  $10^{12}$  K the number of electrons is more than 3-5 orders of magnitude larger than in the cold matter, and the number of electron-positron pairs produced is up to 80% of the number of electrons.

2. The pressure of HSQ matter at a given value of the energy density has a weak temperature dependence.
3. The curves of the mass-central density and the radius-mass dependences for the HSQ star differ very little from the corresponding curves for cold quark stars.
4. The number densities of quarks on the surface of a HSQ star decrease with increasing temperature.
5. Depending on the baryon mass and initial temperature ( $\sim 10^{12}$  K), the HSQ star may: 1) monotonically contract, 2) monotonically expand, 3) expand, and then contract.
6. By using the static stability criterion, the stability of hot stars is studied. Mass defect of such stars are determined.
7. It is shown that in the region of values of the star mass - radius, in which the observed white dwarfs are located, strange dwarfs may also be located. Such objects cannot be discerned knowing only the values of two characteristics - radius and mass.

