В. С. Секержицкий

**РАВНОВЕСНЫЕ СИСТЕМЫ
ФЕРМИОНОВ И БОЗОНОВ
В МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ**

Учреждение образования
«Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина»

В. С. Секержицкий

**РАВНОВЕСНЫЕ СИСТЕМЫ
ФЕРМИОНОВ И БОЗОНОВ
В МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ**

Монография

**БрГУ им. А.С. Пушкина
2008**

УДК 524.35+537.9+539.1
ББК 22.317+22.38+22.632
Се28

*Рекомендовано редакционно-издательским советом
учреждения образования
«Брестский государственный университет имени А.С. Пушкина»*

Рецензенты:

главный научный сотрудник Государственного научного
учреждения «Институт физики имени Б.И. Степанова
Национальной академии наук Беларуси»
доктор физико-математических наук **М.И. Левчук**

заведующий лабораторией ядерной оптики и космофизики
научно-исследовательского учреждения «Институт ядерных
проблем» Белорусского государственного университета
доктор физико-математических наук **В.В. Тихомиров**

Секержицкий, В. С.

Се28 **Равновесные системы фермионов и бозонов в магнитных полях :**
монография / В. С. Секержицкий ; Брест. гос. ун-т имени А. С. Пуш-
кина. – Брест : Изд-во БрГУ, 2008. – 198 с.

Монография содержит результаты теоретических исследований влияния сильных магнитных полей на термодинамические характеристики ферми- и бозе-газов в приближениях крайнего вырождения и невырождения, а также на физические свойства сверхплотного вещества, существование которого возможно в астрофизических объектах.

Для научных работников, аспирантов, магистрантов и студентов старших курсов, специализирующихся в областях статистической термодинамики, ядерной физики и релятивистской астрофизики.

**УДК 524.35+537.9+539.1
ББК 22.317+22.38+22.632**

© В.С. Секержицкий, 2008
© Оформление БрГУ
имени А.С. Пушкина, 2008

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
Глава 1 Основы термодинамического описания ферми- и бозе-газов	7
1.1 Ферми- и бозе-газы в отсутствие внешних воздействий	7
1.2 Ферми- и бозе-газы в магнитных полях	9
Глава 2 Крайне вырожденные ферми-газы	13
2.1 О поляризации крайне вырожденных идеальных ферми-газов в магнитном поле.....	13
2.2 Термодинамические характеристики крайне вырожденных идеальных нерелятивистских ферми-газов в магнитном поле.....	24
2.3 Термодинамические характеристики крайне вырожденных идеальных релятивистских ферми-газов в магнитном поле.....	38
2.4 Приближенное описание крайне вырожденного идеального релятивистского электронного газа в магнитном поле.....	43
Глава 3 Невырожденные ферми- и бозе-газы	47
3.1 Невырожденные идеальные ферми- и бозе-газы в отсутствие внешних воздействий.....	47
3.2 Термодинамические характеристики невырожденных идеальных нерелятивистских ферми- и бозе-газов в магнитном поле.....	50
3.3 Термодинамические характеристики невырожденных идеальных релятивистских ферми- и бозе-газов в магнитном поле.....	62
3.4 Мюонные и пионные пары в магнитном поле.....	66
Глава 4 Сверхплотный замагниченный водород в модели ферми-газов	74
4.1 Сверхплотный водород в астрофизических объектах и пикноядерные реакции синтеза.....	74
4.2 Критерии устойчивости фазы твердого тела для замагниченного электронно-протонного вещества.....	83
4.3 О нейтронизации холодного сильно замагниченного водорода.....	88
4.4 Уравнения состояния сверхплотного водорода в магнитном поле..	96
Глава 5 Электронно-ядерное вещество в магнитном поле	105
5.1 О фазовом состоянии и нейтронизации сильно замагниченного электронно-ядерного вещества	105
5.2 Об уравнении состояния холодного электронно-ядерного вещества в магнитном поле.....	118
5.3 О равновесных параметрах холодного электронно-ядерного вещества в магнитном поле.....	121

Глава 6 Электронно-нейтронно-ядерное вещество в магнитном поле	129
6.1 Термодинамическое описание равновесного электронно-нейтронно-ядерного вещества в магнитном поле	129
6.2 О запасах ядерной энергии в холодном сильно замагниченном электронно-нейтронно-ядерном веществе.....	141
6.3 Учет кулоновского взаимодействия при вычислении равновесных параметров электронно-нейтронно-ядерного замагниченного вещества.....	147
6.4 Учет размеров ядер и ядерного взаимодействия свободных нейтронов при вычислении равновесных параметров электронно-нейтронно-ядерного замагниченного вещества	154
6.5 Учет пионизации ядер при вычислении равновесных параметров сверхплотного замагниченного вещества.....	164
Глава 7 Электронно-нуклонное вещество в магнитном поле	167
7.1 Равновесные параметры холодного электронно-нуклонного замагниченного вещества в модели идеальных ферми-газов	167
7.2 Учет ядерного взаимодействия при описании крайне вырожденных нуклонных газов в магнитном поле	173
7.3 Учет ядерного взаимодействия нуклонов при описании холодного электронно-нуклонного замагниченного вещества	181
7.4 О параметрах электронно-нуклонной конфигурации с изменяющимся магнитным полем.....	183
Заключение	187
Список использованной литературы	189

ВВЕДЕНИЕ

Согласно существующим представлениям, в нейтронных звездах (пульсарах) плотность вещества может превышать ядерную. При плотностях, меньших ядерной и характерных для оболочек нейтронных звезд и недр белых карликов, должны быть условия для реализации электронно-ядерной (Ae), электронно-нейтронно-ядерной (Aen) или электронно-нуклонной (enp) фаз вещества. В любой из перечисленных фаз одним из компонентов вещества является газ свободных электронов, который при плотностях $\rho > 10^6$ г/см³ является релятивистским; при этом температура его вырождения превышает 10^{10} К, что значительно больше предполагаемых температур в недрах указанных астрофизических объектов. В веществе, находящемся в Aen - и enp -фазах, имеются также свободные нерелятивистские нейтроны, а в enp -фазе еще и свободные нерелятивистские протоны.

Исследование Ae -, Aen - и enp -фаз вещества, нахождение его параметров и уравнений состояния имеет важное значение для физики сверхплотных астрофизических объектов, в частности, для построения теоретических моделей, позволяющих не только объяснять отдельные наблюдаемые эффекты, но и обосновывать предположения и гипотезы о строении и эволюции указанных небесных тел. Решению этих вопросов посвящено огромное количество научных публикаций, среди которых выделяется цикл работ сотрудников Бюраканской астрофизической обсерватории, дающих довольно стройное представление о возможных термодинамических свойствах и характеристиках вещества в Ae -, Aen - и enp -фазах, а также о процессах, происходящих в таком веществе.

Теоретически обоснованная и подтвержденная наблюдательными данными (по крайней мере, косвенными) возможность существования в сверхплотных звездах весьма сильных магнитных полей делает актуальной задачу об учете их влияния на физические свойства сверхплотного вещества. Для этого в первую очередь необходимы уравнения и соотношения, позволяющие проводить термодинамическое описание ферми-газов в магнитном поле. Следует заметить, что изучение свойств ферми-газа (в частности, нерелятивистского электронного газа) в магнитном поле представляет интерес не только для астрофизики, но и для физики любых систем, содержащих свободные фермионы (например, физики металлов или полупроводников).

Для исследования процессов, связанных со вспышками Сверхновых, представляет существенный интерес вопрос о влиянии магнитного поля на свойства ферми- и бозе-газов при высоких температурах. В горячих

астрофизических объектах возможны процессы рождения электронно-позитрон-ных и других пар «частица-античастица», поэтому вполне естественна задача исследования влияния сильного магнитного поля на параметры вещества, в состав которого входят указанные пары.

Исследованию влияния магнитных полей на термодинамические характеристики ферми- и бозе-газов и применению полученных при этом результатов для термодинамического описания сверхплотного вещества в магнитном поле посвящены многочисленные публикации (в том числе и автора данной работы), ссылки на которые будут приводиться ниже по мере необходимости.

Первая попытка обобщения результатов исследования влияния магнитных полей на термодинамические и ядерные параметры и некоторые свойства сверхплотного вещества была предпринята автором в [1]. За время, прошедшее после публикации [1], были пересмотрены и по-новому интерпретированы некоторые приведенные в [1] данные, решены новые задачи (в частности, связанные с исследованием влияния магнитных полей на характеристики бозе-газов, на термодинамические параметры газов из пар «частица-античастица», на кинетику и энергетику пикноядерных реакций в сверхплотном веществе и т. д.). Настоящая работа включает некоторые исправленные и дополненные разделы монографии [1], содержит новые результаты исследования влияния магнитных полей на свойства ферми-газов, бозе-газов и сверхплотного вещества, дает им современную интерпретацию.

Приведенные ниже формулы и соотношения могут быть использованы при изучении свойств вещества сверхплотных замагниченных астрофизических объектов, однако рассмотрение возможных астрофизических приложений выходит за рамки данной работы.

ГЛАВА 1 ОСНОВЫ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ ФЕРМИ- И БОЗЕ-ГАЗОВ

1.1 Ферми- и бозе-газы в отсутствие внешних воздействий

Многие астрофизические модели и оценочные расчеты основаны на использовании приближений идеальных ферми- и бозе-газов для компонентов вещества, входящего в состав исследуемых и моделируемых астрофизических объектов. При решении задач, связанных с применением разнообразных уравнений состояния вещества, необходимо знание аналитических выражений (в ряде случаев хотя бы приближенных) для термодинамических характеристик ферми- и бозе-газов.

Один из наиболее эффективных методов вычисления термодинамических характеристик системы с изменяемым числом частиц основан на предварительном вычислении большого термодинамического потенциала

$$\Omega = F - \Phi, \quad (1.1)$$

где F и Φ – свободная энергия Гельмгольца и термодинамический потенциал Гиббса соответственно. Как известно, естественными переменными для Ω -потенциала являются температура T , объем V и химический потенциал χ :

$$d\Omega = -SdT - PdV - Nd\chi, \quad (1.2)$$

а энтропия S , давление P и число частиц N могут быть найдены путем дифференцирования:

$$S = -\left(\frac{\partial\Omega}{\partial T}\right)_{V,\chi}; \quad P = -\left(\frac{\partial\Omega}{\partial V}\right)_{T,\chi}; \quad N = -\left(\frac{\partial\Omega}{\partial\chi}\right)_{T,V}. \quad (1.3)$$

Другие термодинамические потенциалы выражаются через Ω -потенциал:

$$\Phi = \chi N = -\chi \left(\frac{\partial\Omega}{\partial\chi}\right)_{T,V}, \quad (1.4)$$

$$F = \Phi - PV = \Phi + \Omega = \Omega - \chi \left(\frac{\partial \Omega}{\partial \chi} \right)_{T,V}, \quad (1.5)$$

$$U = F + TS = \Omega - \chi \left(\frac{\partial \Omega}{\partial \chi} \right)_{T,V} - T \left(\frac{\partial \Omega}{\partial T} \right)_{V,\chi}, \quad (1.6)$$

$$H = U + PV = U - \Omega = -\chi \left(\frac{\partial \Omega}{\partial \chi} \right)_{T,V} - T \left(\frac{\partial \Omega}{\partial T} \right)_{V,\chi}. \quad (1.7)$$

Здесь U и H – внутренняя энергия и энтальпия. Таким образом, задачи нахождения необходимых термодинамических характеристик ферми- и бозе-газов могут быть сведены к вычислению соответствующих Ω -потенциалов этих газов.

Рассмотрим газ из частиц, которые можно считать элементарными в условиях данной задачи. Энергии нерелятивистской и релятивистской частиц даются соответственно известными выражениями:

$$\varepsilon = mc^2 + \frac{p^2}{2m}, \quad (1.8)$$

$$\varepsilon = \sqrt{m^2 c^4 + c^2 p^2}, \quad (1.9)$$

где m и p – масса и импульс частицы, c – скорость света. Среднее число частиц в i -м квантовом состоянии

$$\bar{n}_i = \frac{1}{\exp\left(\frac{\varepsilon_i - \chi}{kT}\right) \pm 1}, \quad (1.10)$$

где k – постоянная Больцмана, T – температура. Формулы данного подраздела имеют аналогичный вид для фермионов и бозонов, отличаясь в некоторых случаях лишь знаком (верхний знак соответствует фермионам, а нижний – бозонам). В элементе фазового объема $4\pi p^2 dp dV$ число возможных квантовых состояний равно

$$dG = g \frac{4\pi p^2 dp dV}{(2\pi\hbar)^3}, \quad (1.11)$$

где $g = 2s + 1$, s – спин частицы, $\hbar$ – постоянная Планка. Тогда число частиц в объеме V

$$N = g \frac{V}{2\pi^2 \hbar^3} \int_0^{\infty} \frac{p^2 dp}{\exp\left(\frac{\varepsilon - \chi}{kT}\right) \pm 1}. \quad (1.12)$$

Вполне понятно, что используя формулы (1.8) или (1.9), можно перейти в (1.12) от интегрирования по импульсу p к интегрированию по энергии ε .

Как известно (см., например, [2, с. 181]), большой термодинамический потенциал ферми- или бозе-газа дается выражением:

$$\Omega = \mp kT \sum_i g_i \ln \left(1 \pm \exp \frac{\chi - \varepsilon_i}{kT} \right). \quad (1.13)$$

Переходя от суммирования к интегрированию, получаем:

$$\Omega = \mp \frac{gkTV}{2\pi^2 \hbar^3} \int_0^{\infty} \ln \left(1 \pm \exp \frac{\chi - \varepsilon}{kT} \right) p^2 dp. \quad (1.14)$$

Заметим, что в общем случае интеграл в (1.14) в элементарных функциях не вычисляется. Переход к интегрированию по энергии и интегрирование по частям позволяют несколько упростить выражение (1.14) (см., например, [3, с. 185]), но также приводят к интегралу, который не берется в элементарных функциях. Лишь в частных случаях невырожденных ферми- и бозе-газов и сильно вырожденного ферми-газа возможны дальнейшие аналитические преобразования выражения (1.14) и использование соотношений (1.3)–(1.7) для вычисления других термодинамических характеристик. Эти вопросы будут рассмотрены ниже.

1.2 Ферми- и бозе-газы в магнитных полях

Исследование влияния магнитного поля на термодинамические характеристики идеальных ферми-газов представляет существенный интерес как для физики сверхплотных магнитных звезд, так и для физики твердого тела и полупроводников, и потому этой проблеме посвящено большое количество научных публикаций, основу для которых составили классические работы В. Паули [4] и Л.Д. Ландау [5]. В [6] был предложен способ вычисления химического потенциала нерелятивистского электронного газа в магнитном поле, основанный на предварительном

расчете большого термодинамического потенциала и использовании метода термодинамических функций (аналогично показанному выше). Химический потенциал нерелятивистских электронов проводимости при учете квантования их движения в постоянном и однородном магнитном поле вычислялся в [7; 8]. В [9] были впервые рассмотрены свойства релятивистской замагниченной плазмы и получена система параметрических уравнений, определяющих химический потенциал и давление релятивистского электронного газа в квантующем магнитном поле. В [10–13] был проделан вывод уравнения состояния релятивистского электронного газа в квантующем магнитном поле и рассмотрен ряд задач, связанных с исследованием свойств свободного электронного газа в широком интервале температур и плотностей при наличии сильных магнитных полей. Однако полученные в [10–13] соотношения, как отмечалось в [14], в силу их сложности не могли быть применены для исследования микропроцессов в плазме астрофизических объектов. В [15–20] был использован метод [6] для описания газа релятивистских электронов в сильном магнитном поле при температуре абсолютного нуля и получены удобные для дальнейших аналитических исследований формулы химического потенциала и средней полной энергии этого газа; здесь же [18; 20] получены параметрические выражения для химического потенциала и магнитной восприимчивости нерелятивистского протонного газа в квантующем магнитном поле. В [21] была сделана попытка сформулировать критерии вырождения и идеальности ультрарелятивистского электронного газа в сверхсильном магнитном поле. Исследованию влияния магнитных полей произвольной интенсивности на характеристики крайне вырожденных идеальных нерелятивистских и релятивистских ферми-газов посвящены и наши работы [22–27].

Для релятивистской астрофизики (в частности, для исследования процессов, связанных со вспышками Сверхновых) представляет также существенный интерес менее изученный вопрос о влиянии магнитного поля на свойства ферми- и бозе-газов при высоких температурах. Вычисление термодинамических характеристик невырожденного идеального нерелятивистского электронного газа в магнитном поле проведено в [2]; предложенный в [2] метод достаточно универсален и его можно попытаться применить для термодинамического описания любых невырожденных идеальных ферми-газов (как нерелятивистских, так и релятивистских) в магнитном поле. Это было предпринято в [28; 29], где проведено исследование влияния сильного магнитного поля на параметры электронно-позитронной плазмы. Ряд свойств идеальных ферми- и бозе-газов (в частности, газов из мюонных и пионных пар) при высоких

температурах исследован в [30–32], а также при участии автора данной монографии в [33–41].

Подходы авторов перечисленных и других работ по данной тематике, математический аппарат и методы расчетов весьма разнообразны. Это вполне естественно, т. к. вычисление термодинамических характеристик ферми- и бозе-газов в магнитном поле в большинстве случаев не самоцель, а лишь средство для решения прикладных задач различных разделов физики. В то же время, некоторые особенности и свойства ферми- и бозе-газов в присутствии магнитного поля до настоящего времени не исследованы детально.

Рассмотрим, как изменятся формулы подраздела 1.1 при наличии постоянного и однородного магнитного поля с индукцией B , действующего на фермионы или бозоны рассматриваемых газов.

Следуя классической работе Паули [4], для полной энергии нерелятивистского незаряженного фермиона можно записать:

$$\varepsilon = mc^2 + \frac{p^2}{2m} + 2s\sigma\mu B, \quad (1.15)$$

где $s = \mp 1/2$ – величина проекции спина частицы на направление вектора индукции магнитного поля, σ – величина отношения собственного магнитного момента фермиона к соответствующему магнетону μ . Для нерелятивистского незаряженного бозона с $s = 0$ имеет место выражение (1.8). Далее из незаряженных частиц будут рассматриваться лишь нейтроны, причем при концентрациях, для которых справедливо нерелятивистское приближение. В этом случае справедливы формулы (1.12) и (1.14) при $g = 2$ и энергии ε , определяемой выражением (1.15).

Иначе обстоит дело с заряженными частицами, на которые достаточно сильное магнитное поле может оказывать квантующее действие [5]. Энергия нерелятивистского фермиона в этом случае [5]

$$\varepsilon = mc^2 + \frac{p_z^2}{2m} + \mu B(2n+1) + 2s\sigma\mu B, \quad (1.16)$$

где $n = 0, 1, 2, \dots$ – номер квантового уровня Ландау, p_z – проекция импульса p частицы на направление индукции магнитного поля, $\sigma\mu$ – собственный магнитный момент фермиона, $\mu = e\hbar/(2mc)$ – магнетон, e – модуль заряда, $s = \mp 1/2$.

Число квантовых состояний фермиона с определенным направлением спина, находящегося в объеме V и обладающего проекцией импульса от p_z до $p_z + dp_z$, при наличии магнитного поля определяется выражением [5]:

$$dG = \frac{m\mu BV}{2\pi^2\hbar^3} dp_z. \quad (1.17)$$

Тогда

$$N = \frac{m\mu BV}{2\pi^2\hbar^3} \sum_s \sum_n \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{dp_z}{\exp\left(\frac{\varepsilon - \chi}{kT}\right) + 1}, \quad (1.18)$$

$$\Omega = -\frac{kTm\mu BV}{2\pi^2\hbar^3} \sum_s \sum_n \int_{-\infty}^{+\infty} \ln\left(1 + \exp\frac{\chi - \varepsilon}{kT}\right) dp_z. \quad (1.19)$$

Аналогично для нерелятивистских заряженных бозонов с $s = 0$ запишем:

$$\varepsilon = mc^2 + \frac{p_z^2}{2m} + \mu B(2n + 1), \quad (1.20)$$

$$N = \frac{m\mu BV}{2\pi^2\hbar^3} \sum_n \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{dp_z}{\exp\left(\frac{\varepsilon - \chi}{kT}\right) - 1}, \quad (1.21)$$

$$\Omega = \frac{kTm\mu BV}{2\pi^2\hbar^3} \sum_n \int_{-\infty}^{+\infty} \ln\left(1 - \exp\frac{\chi - \varepsilon}{kT}\right) dp_z. \quad (1.22)$$

Как показано в [9], для релятивистских заряженных микрочастиц в квантующем магнитном поле также справедливо (1.17), а значит и формулы (1.18), (1.19), (1.21) и (1.22), но выражения для энергии фермиона и бозона ($s = 0$) имеют соответственно вид [42, с. 212]:

$$\varepsilon = \sqrt{c^2 p_z^2 + \left(\sqrt{m^2 c^4 + 2mc^2 \mu B(2n + 1 + 2s)} + 2s(\sigma - 1)\mu B\right)^2}, \quad (1.23)$$

$$\varepsilon = \sqrt{c^2 p_z^2 + m^2 c^4 + 2mc^2 \mu B(2n + 1)}. \quad (1.24)$$

Аналитические преобразования выражений (1.18), (1.19), (1.21) и (1.22) возможны лишь в частных случаях невырожденных ферми- и бозе-газов и сильно вырожденного ферми-газа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Значительная часть результатов данной работы получена в рамках определенных модельных представлений и приближений, не обязательно соответствующих реальным природным (в частности, астрофизическим) условиям, и потому носит оценочный характер или представляет чисто академический интерес. Тем не менее, результаты работы дают определенное представление о ряде физических свойств сверхплотного вещества в сильном магнитном поле.

Естественно, в рамках одной монографии нельзя рассмотреть все аспекты проблемы исследования влияния магнитных полей на параметры и свойства сверхплотного вещества (и даже только на характеристики ферми-газов и бозе-газов), тем более, что эти исследования продолжаются и в настоящее время. Так, например, определенный интерес представляет последовательное решение задачи о влиянии магнитного поля на заполнение энергетических уровней и вычисление сплошной («продольной») и дискретной («поперечной») частей кинетической энергии газа заряженных фермионов в приближениях крайнего вырождения и невырождения (см. цикл публикаций [105–114], некоторые подходы и выводы которых автору настоящей работы представляются дискуссионными). Весьма интересна и, на наш взгляд, перспективна задача об учете синхротронного излучения электронов при расчетах термодинамических характеристик электронного газа [115] и соответствующих приложениях к описанию сверхплотного замагниченного вещества.

Исследование влияния магнитных полей большой интенсивности на термодинамические параметры невырожденных газов фермионов и бозонов представляют интерес для физики горячих магнитных звезд, в частности, при изучении процессов, связанных со вспышками Сверхновых. Известно, что одним из механизмов отвода тепла из недр звезды, стимулирующим потерю звездой гидродинамической устойчивости и приводящим, в конечном счете, к вспышке Сверхновой, является рождение пар «частица-античастица». Вмороженное в вещество магнитное поле, которое оказывает квантующее действие на рождающиеся в результате теплового движения фермионные и бозонные пары, заметно изменяет их число и термодинамические характеристики соответствующих газов [28–32; 37; 39]. Эти эффекты могут оказать влияние на критерий гидродинамической устойчивости звезды [116]; исследованию такого влияния посвящены работы [30–32; 117]. Следует заметить, что в области «релятивистских температур» результаты [30–32; 117] требуют детальной проверки,

поскольку они получены в приближении невырождения газов из фермионных и бозонных пар (т. е. с использованием распределения Максвелла-Больцмана), что для рассматриваемых ферми- и бозе-газов вряд ли можно считать корректным (см. подразделы 3.1 и 3.4).

К настоящему времени предприняты лишь первые попытки учета влияния ядерного псевдомагнитного поля [118] на характеристики ферми-газов и сверхплотного замагниченного вещества (см. [27; 34; 35; 119–122] и др.). Предварительные оценочные расчеты дают основание предполагать большое количество возможных теоретических задач, решение которых может привести к новым интересным результатам.

Требуют детального изучения вопросы, связанные с уточнением как используемых в данной работе, так и других теоретических моделей для описания физических свойств сверхплотного вещества в магнитном поле. Еще предстоит подробные исследования влияний магнитных полей на энергетику и кинетику ядерных процессов в сверхплотном веществе ([49–52; 60–62; 76; 78; 86; 123–129] и некоторые другие – это лишь первые работы по данной тематике).

Наконец, наиболее интересны астрофизические приложения результатов данных исследований (оценки интегральных параметров и энергетики сверхплотных сильно замагниченных астрофизических объектов и т. п.).

Решение перечисленных (и других) задач открывает широкое поле плодотворной научной деятельности в данном направлении.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Секержицкий, В. С. Сверхплотное вещество в магнитном поле / В. С. Секержицкий. – Брест : БрГУ им. А. С. Пушкина, 2002. – 180 с. : ил.
2. Румер, Ю. Б. Термодинамика, статистическая физика и кинетика / Ю. Б. Румер, М. Ш. Рывкин. – 2-е изд., исправл. и доп. – М. : Наука, 1977. – 552 с. : ил.
3. Ландау, Л. Д. Статистическая физика / Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц. – М. : Наука, 1976. – Ч. 1. – 584 с. : ил.
4. Паули, В. Квантовые теории магнетизма. Магнитный электрон / В. Паули // Труды по квантовой теории. – М. : Наука, 1977. – С. 34.
5. Ландау, Л. Д. Диамагнетизм металлов / Л. Д. Ландау // Собрание трудов. – М. : Наука, 1969. – Т. 1. – С. 47–55.
6. Румер, Ю. Б. К теории магнетизма электронного газа / Ю. Б. Румер // Ж. эксперим. и теор. физ. – 1948. – Т. 18, № 12. – С. 1081–1095.
7. Ансельм, А. И. Химический потенциал и критерий вырождения электронов проводимости в сильном магнитном поле / А. И. Ансельм, Б. М. Аскеров // Физ. тверд. тела. – 1960. – Т. 2, № 11. – С. 2821–2826.
8. Аскеров, Б. М. Кинетические эффекты в полупроводниках / Б. М. Аскеров. – Л. : Наука, Ленингр. отд., 1968. – 303 с. : ил.
9. Рубан, В. А. Магнитные свойства релятивистской плазмы / В. А. Рубан // Изв. вузов. Физика. – 1967. – № 3. – С. 67–74.
10. Canuto, V. Quantum theory of an electron gas in intense magnetic fields / V. Canuto, H. Y. Chiu // Phys. Rev. – 1968. – V. 173, № 5. – P. 1210–1219.
11. Canuto, V. Thermodynamic properties of a magnetized fermi gas / V. Canuto, H. Y. Chiu // Phys. Rev. – 1968. – V. 173, № 5. – P. 1220–1228.
12. Canuto, V. Magnetic moment of a magnetized fermi gas / V. Canuto, H. Y. Chiu // Phys. Rev. – 1968. – V. 173, № 5. – P. 1229–1235.
13. Canuto, V. Intense magnetic field in astrophysics / V. Canuto, H. Y. Chiu // Space Sci. Rev. – 1977. – V. 12, № 1. – P. 3–74.
14. Canuto, V. Quantizing magnetic field in astrophysics / V. Canuto, J. Ventura // Fundam. Cosmic. Phys. – 1977. – V. 2, № 3–4. – P. 203–253.
15. Шульман, Г. А. Холодная нейтральная плазма в квантующем магнитном поле / Г. А. Шульман // Изв. вузов. Физика. – 1974. – № 10. – С. 24–28.
16. Шульман, Г. А. Нейтронизация холодного водорода в присутствии сверхсильных магнитных полей / Г. А. Шульман // Астрофизика. – 1974. – Т. 10, вып. 4. – С. 543–554.

17. Шульман, Г. А. О свойствах холодного плотного вещества с замороженным сверхсильным магнитным полем / Г. А. Шульман // *Астрофизика*. – 1975. – Т. 11, вып. 1. – С. 89–95.

18. Шульман, Г. А. О внутреннем строении холодных сверхплотных звезд с замороженным магнитным полем / Г. А. Шульман // *Астрон. ж.* – 1975. – Т. 52, вып. 6. – С. 1166–1172.

19. Шульман, Г. А. Сверхплотные звезды в квантовом пределе замороженных сверхсильных магнитных полей / Г. А. Шульман // *Астрон. ж.* – 1976. – Т. 53, вып. 4. – С. 755–761.

20. Шульман, Г. А. К квантовой теории магнетизма сверхплотных звезд / Г. А. Шульман // *Астрон. ж.* – 1979. – Т. 56, вып. 1. – С. 51–59.

21. Шульман, Г. А. О снятии вырождения и приближения идеального газа для электронов холодной плотной звезды с замороженным сверхсильным магнитным полем / Г. А. Шульман, В. С. Секержицкий // *Астрофизика*. – 1977. – Т. 13, вып. 1. – С. 165–172.

22. Липовецкий, С. С. Термодинамические характеристики ферми-газов в магнитном поле / С. С. Липовецкий, А. А. Олесик, В. С. Секержицкий // *Изв. вузов. Физика*. – 1987. – № 5. – С. 21–25.

23. Иванов, М. А. К вопросу об идеальности ферми-газов в сильном магнитном поле / М. А. Иванов, С. С. Липовецкий, В. С. Секержицкий // *Астрофизика*. – 1989. – Т. 31, вып. 1. – С. 191–194.

24. Секержицкий, В. С. К вопросу о влиянии квантующего магнитного поля на характеристики протонного газа / В. С. Секержицкий // *Изв. вузов. Физика*. – 1993. – № 1. – С. 125–126.

25. Секержицкий, В. С. К вопросу о магнетизме релятивистского ферми-газа / В. С. Секержицкий // *Изв. вузов. Физика*. – 1994. – № 1. – С. 37–38.

26. Иванов, М. А. К вопросу о термодинамических характеристиках крайне вырожденного релятивистского ферми-газа в магнитном поле / М. А. Иванов, В. С. Секержицкий, И. В. Секержицкий // *Веснік Брэсцкага ун-та*. – 1999. – № 2. – С. 37–40.

27. Секержицкий, В. С. К вопросу о поляризации ферми-газов и уравнении состояния сверхплотного замагниченного водорода / В. С. Секержицкий, И. В. Секержицкий, А. И. Серый // *Веснік Брэсцкага ун-та*. – 2000. – № 6. – С. 70–78.

28. Иванов, М. А. Равновесие по отношению к образованию пар в квантующем магнитном поле / М. А. Иванов, Г. А. Шульман // *Изв. вузов. Физика*. – 1977. – № 9. – С. 122–126.

29. Иванов, М. А. Термодинамические функции равновесного излучения и электрон-позитронных пар в присутствии квантующих магнитных полей / М. А. Иванов, Г. А. Шульман // *Изв. вузов. Физика*. – 1978. – № 3. – С. 60–65.

30. Иванов, М. А. Устойчивость горячих равновесных конфигураций с сильным магнитным полем по отношению к рождению μ -мезонных пар / М. А. Иванов, С. С. Секержицкий // Веснік Брэсцкага ун-та. Сер. прыродазнаўчых навук. – 2003. – № 3 (36). – С. 41–47.

31. Ганчук, Г. Г. Показатель изэнтропы излучения и мезонных пар горячего вещества звезд в присутствии сильного магнитного поля / Г. Г. Ганчук, М. А. Иванов, С. С. Секержицкий // Веснік Брэсцкага ун-та. Сер. прыродазнаўчых навук. – 2005. – № 1 (22). – С. 43–52.

32. Ivanov, M. A. The index of isoentropie of radiation and meson pairs of hot matter by magnetic field spontaneous induction / M. A. Ivanov // Вучоныя запіскі Брэсцкага дзяржаўнага універсітэта імя А. С. Пушкіна. – 2005. – Т. 1, ч. 2. – С. 51 – 60.

33. Иванов, М. А. Термодинамические характеристики невырожденных ферми- и бозе-газов в сильном магнитном поле / М. А. Иванов, В. С. Секержицкий // Веснік Брэсцкага ун-та. – 1998. – № 2. – С. 31–38.

34. Секержицкий, В. С. К вопросу о вычислении термодинамических характеристик невырожденных ферми-газов в магнитном поле / В. С. Секержицкий, А. И. Серый // Веснік Брэсцкага ун-та. – 2001. – № 2. – С. 79–81.

35. Секержицкий, В. С. О связи термодинамических характеристик невырожденных ферми-газов в магнитном поле со степенью их поляризации / В. С. Секержицкий, А. И. Серый // Веснік Брэсцкага ун-та. – 2002. – № 2. – С. 59–63.

36. Секержицкий, В. С. Термодинамические характеристики горячих идеальных нерелятивистских ферми-газов в магнитном поле / В. С. Секержицкий, И. В. Секержицкий // Веснік Брэсцкага ун-та. – 2002. – № 6. – С. 63–70.

37. Иванов, М. А. π -мезонные пары в магнитном поле при высоких температурах / М. А. Иванов, А. Н. Привальчук, В. С. Секержицкий // Веснік Брэсцкага ун-та. Сер. прыродазнаўчых навук. – 2003. – № 2 (34). – С. 40–43.

38. Привальчук, А. Н. Термодинамические характеристики горячего идеального нерелятивистского бозе-газа в магнитном поле / А. Н. Привальчук, В. С. Секержицкий, И. В. Секержицкий // Веснік Брэсцкага ун-та. Сер. прыродазнаўчых навук. – 2003. – № 2 (34). – С. 44–47.

39. Иванов, М. А. Термодинамические характеристики нерелятивистских мюонных пар в магнитном поле / М. А. Иванов, В. С. Секержицкий // Веснік Брэсцкага ун-та. Сер. прыродазнаўчых навук. – 2003. – № 3 (36). – С. 36–40.

40. Секержицкий, В. С. Мюонные и пионные пары в магнитном поле / В. С. Секержицкий, С. С. Секержицкий // Веснік Брэсцкага ун-та. Сер. прыродазнаўчых навук. – 2007. – № 2 (29). – С. 52–59.

41. Секержицкий, В. С. Невырожденные ферми- и бозе-газы в магнитном поле / В. С. Секержицкий // Вучоныя запіскі Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А. С. Пушкіна. – 2007. – Т. 3, ч. 2. – С. 67–76.

42. Вонсовский, С. В. Магнетизм микрочастиц / С. В. Вонсовский. – М. : Наука, 1973. – 280 с. : ил.

43. Саакян, Г. С. Равновесные конфигурации вырожденных газовых масс / Г. С. Саакян. – М. : Наука, 1972. – 344 с. : ил.

44. Корн, Г. Справочник по математике для научных работников и инженеров. Определения, теоремы и формулы / Г. Корн, Т. Корн. – М. : Наука, 1977. – 832 с. : ил.

45. Шульман, Г. А. Вырожденные ферми-газы заряженных частиц в квантующем магнитном поле / Г. А. Шульман // Изв. вузов. Физика. – 1991. – № 9. – С. 5–9.

46. Градштейн, И. С. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений / И. С. Градштейн, И. М. Рыжик. – М. : ГИФМЛ, 1963. – 1100 с. : ил.

47. Двайт, Г. Б. Таблицы интегралов и другие математические формулы / Г. Б. Двайт. – М. : Наука, 1973. – 228 с. : ил.

48. Шкловский, И. С. Сверхновые звезды / И. С. Шкловский. – М. : Наука, 1976. – 440 с. : ил.

49. Зельдович, Я. Б. О ядерных реакциях в сверхплотном холодном водороде / Я. Б. Зельдович // Ж. эксперим. и теор. физ. – 1957. – Т. 33, № 4 (10). – С. 991–993.

50. Чубарян, Э. В. Некоторые свойства вещества при плотностях ниже ядерной / Э. В. Чубарян // Докл. АН Арм. ССР. – 1964. – Т. 38, № 1. – С. 17–21.

51. Киржниц, Д. А. О внутреннем строении сверхплотных звезд / Д. А. Киржниц // Ж. эксперим. и теор. физ. – 1960. – Т. 38, № 2. – С. 503–508.

52. Шульман, Г. А. О ядерных реакциях в сверхплотном замагниченном холодном водороде / Г. А. Шульман // Изв. вузов. Физика. – 1976. – № 12. – С. 66–70.

53. Секержицкий, В. С. К расчету вероятности пикноядерной реакции в замагниченном водороде / В. С. Секержицкий, С. С. Секержицкий, Г. А. Шульман // Изв. вузов. Физика. – 1982. – № 9. – С. 109–110.

54. Дубик, И. Ю. Пикноядерные реакции синтеза в холодном водороде / И. Ю. Дубик, В. С. Секержицкий // Веснік Брэсцкага ун-та. Сер. прыродазнаўчых навук. – 2007. – № 1 (28). – С. 51–58.

55. Секержицкий, В. С. О ядерных реакциях в плотном холодном замагниченном веществе / В. С. Секержицкий, Г. А. Шульман // Изв. вузов. Физика. – 1980. – № 3. – С. 22–27.

56. Абрикосов, А. А. Некоторые свойства сильно сжатого вещества / А. А. Абрикосов // Ж. эксперим. и теор. физ. – 1960. – Т. 39, № 6 (12). – С. 1797–1805.
57. Hamada, T. Models for zero-temperature stars / T. Hamada, E. E. Salpeter // *Astrophys. J.* – 1961. – V. 134, № 3. – P. 683–698.
58. Смит, Ф. Г. Пульсары / Ф. Г. Смит. – М. : Мир, 1979. – 267 с. : ил.
59. Fock, V. Bemerkung zur Quantelung des harmonischen Oszillators in Magnetfeld / V. Fock // *Zs. f. Physik.* – 1928. – Bd. 47, № 2. – Z. 446–447.
60. Дубнер, В. М. Заряженный осциллятор в магнитном поле / В. М. Дубнер // Изв. вузов. Физика. – 1966. – № 4. – С. 167–168.
61. Шульман, Г. А. О физических условиях в недрах сверхплотных замагниченных астрофизических объектов / Г. А. Шульман // *Астрон. ж.* – 1979. – Т. 56, вып. 2. – С. 352–358.
62. Иванов, М. А. О нейтронизации сильно замагниченного вещества / М. А. Иванов, С. С. Липовецкий, В. С. Секержицкий // *Астрон. ж.* – 1993. – Т. 70, вып. 3. – С. 531–536.
63. Шульман, Г. А. Кинетика нейтронизации в сверхплотном замагниченном веществе / Г. А. Шульман // *Астрофизика.* – 1977. – Т. 13, вып. 4. – С. 657–667.
64. Дементей, Ю. И. К вопросу о кинетике нейтронизации вещества в магнитном поле / Ю. И. Дементей, В. С. Секержицкий, И. В. Секержицкий // Изв. вузов. Физика. – 1999. – № 1. – С. 107–108.
65. Франк-Каменецкий, Д. А. Физические процессы внутри звезд / Д. А. Франк-Каменецкий. – М. : Физматгиз, 1959. – 554 с. : ил.
66. Секержицкий, В. С. Холодный плотный водород в сильном магнитном поле / В. С. Секержицкий // Изв. вузов. Физика. – 1997. – № 10. – С. 57–59.
67. Саакян, Г. С. О возможных фазовых состояниях вещества при чрезвычайно больших плотностях / Г. С. Саакян, Ю. Л. Вартамян // *Сообщ. Бюраканской астрофиз. обсерв.* – 1963. – Вып. 33. – С. 55–86.
68. Саакян, Г. С. К теории белых карликов и оболочек барионных звезд / Г. С. Саакян, Э. В. Чубарян // *Сообщ. Бюраканской астрофиз. обсерв.* – 1963. – Вып. 34. – С. 99–133.
69. Авакян, Р. М. О свойствах вырожденной плазмы при чрезвычайно больших плотностях / Р. М. Авакян, Ю. Л. Вартамян, Г. С. Саакян // *Сообщ. Бюраканской астрофиз. обсерв.* – 1971. – Вып. 43. – С. 57–73.
70. Саакян, Г. С. О ядерных реакциях в вырожденной электронно-ядерной плазме / Г. С. Саакян, Р. М. Авакян // *Астрофизика.* – 1972. – Т. 8, вып. 1. – С. 123–138.
71. Вартамян, Ю. Л. Нейтронобогатые ядра в Ферми-газе / Ю. Л. Вартамян, Н. К. Овакимова // *Астрон. ж.* – 1972. – Т. 49, вып. 2. – С. 306–315.

72. Авакян, Р. М. Об источниках ядерной энергии в сверхплотных небесных телах / Р. М. Авакян, Г. С. Саакян // *Астрон. ж.* – 1972. – Т. 49, вып. 2. – С. 316–323.

73. Секержицкий, В. С. Влияние квантующих магнитных полей на структуру ядер холодного плотного вещества / В. С. Секержицкий // XXX Герценовские чтения. Теоретическая физика и астрономия : науч. докл. / Ленингр. гос. пед. ин-т. – Л., 1977. – С. 40–43.

74. Секержицкий, В. С. Об устойчивом состоянии холодного замагниченного вещества при плотностях, меньше ядерной / В. С. Секержицкий, Г. А. Шульман // *Астрофизика.* – 1977. – Т. 13, вып. 3. – С. 473–484.

75. Бахалбашян, А. Р. Абсолютно устойчивое состояние вещества недр холодных сверхплотных сильно замагниченных астрофизических объектов / А. Р. Бахалбашян, Г. М. Недялкова, В. С. Секержицкий [и др.] // *Проблемы космической физики*, вып. 15: Респ. межвед. науч. сб. / Киев. гос. ун-т. – Киев, 1980. – С. 137–142.

76. Секержицкий, В. С. Уравнение состояния холодного сверхплотного замагниченного вещества / В. С. Секержицкий, С. С. Секержицкий, Г. А. Шульман // *Исследования по физике звезд : сб. науч. тр.* / Ленингр. гос. пед. ин-т. – Л., 1981. – С. 25–40.

77. Недялкова, Г. М. Устойчивые состояния электронно-ядерной фазы холодного плотного замагниченного вещества / Г. М. Недялкова, В. С. Секержицкий, С. С. Секержицкий [и др.] // *Исследования по физике звезд : сб. науч. тр.* / Ленингр. гос. пед. ин-т. – Л., 1981. – С. 41–52.

78. Липовецкий, С. С. Равновесные состояния вырожденной замагниченной электронно-ядерной плазмы / С. С. Липовецкий, В. С. Секержицкий // *Астрофизика.* – 1984. – Т. 20, вып. 2. – С. 315–320.

79. Дементей, Ю. И. К вопросу о нейтронизации холодного вещества в сильном магнитном поле / Ю. И. Дементей, В. С. Секержицкий // *Веснік Брэсцкага ун-та.* – 1998. – № 4. – С. 30–36.

80. Секержицкий, В. С. К вопросу о вычислении равновесных параметров электронно-ядерного вещества в магнитном поле / В. С. Секержицкий // *Веснік Брэсцкага ун-та.* – 1998. – № 5-6. – С. 92–96.

81. Секержицкий, В. С. К вопросу о влиянии сверхсильного магнитного поля на вероятность обмена ядер нейтронами / В. С. Секержицкий // *Изв. вузов. Физика.* – 1999. – № 7. – С. 82–83.

82. Секержицкий, В. С. Об уравнении состояния электронно-ядерного вещества в магнитном поле / В. С. Секержицкий, И. В. Секержицкий // *Веснік Брэсцкага ун-та.* – 2001. – № 4. – С. 49–54.

83. Дубик, И. Ю. Пикноядерные реакции обмена ядер нейтронами в замагниченном веществе / И. Ю. Дубик, В. С. Секержицкий // *Веснік Брэсцкага ун-та. Сер. прыродазнаўчых навук.* – 2007. – № 2 (29). – С. 33–39.

84. Широков, Ю. М. Ядерная физика / Ю. М. Широков, Н. П. Юдин. – М. : Наука, 1972. – 672 с. : ил.

85. Леинсон, Л. Б. О делении ядер в сильном магнитном поле / Л. Б. Леинсон, В. Н. Ораевский // *Ядерн. физ.* – 1978. – Т. 27, вып. 6. – С. 1457–1463.

86. Бете, Г. Элементарная теория ядра / Г. Бете, Ф. Моррисон. – М. : ИЛ, 1958. – 356 с. : ил.

87. Володин, В. А. Влияние кристаллической решетки на ядерные свойства сверхплотного вещества / В. А. Володин, Д. А. Киржниц // *Письма в Ж. эксперим. и теор. физ.* – 1971. – Т. 13, № 8. – С. 450–452.

88. Леинсон, Л. Б. Влияние магнитного поля на состав внешней коры пульсара / Л. Б. Леинсон, В. Н. Ораевский // *Астрон. ж.* – 1979. – Т. 56, вып. 56. – С. 1256–1262.

89. Липовецкий, С. С. О равновесных параметрах вещества сверхплотных магнитных звезд / С. С. Липовецкий, В. С. Секержицкий // *Астрон. ж.* – 1993. – Т. 70, вып. 5. – С. 1033–1037.

90. Секержицкий, В. С. О влиянии сильного магнитного поля на энергетический выход пикноядерных реакций / В. С. Секержицкий // *Ядерн. физ.* – 1995. – Т. 58, № 1. – С. 157–158.

91. Секержицкий, В. С. Об уравнении состояния равновесного сильно замагниченного электронно-нейтронно-ядерного вещества / В. С. Секержицкий // *Астрон. ж.* – 1995. – Т. 72, № 2. – С. 263–265.

92. Дементей, Ю. И. К вопросу о равновесных параметрах холодного электронно-нейтронно-ядерного сильно замагниченного вещества / Ю. И. Дементей, В. С. Секержицкий // *Веснік Брэсцкага ун-та.* – 1998. – № 2. – С. 26–30.

93. Секержицкий, В. С. Равновесные параметры холодного электронно-нейтронно-ядерного замагниченного вещества с учетом кулоновских взаимодействий / В. С. Секержицкий, С. С. Секержицкий // *Веснік Брэсцкага ун-та.* – 2002. – № 6. – С. 71–75.

94. Секержицкий, В. С. К вопросу о влиянии магнитного поля на термодинамические и ядерные параметры холодного сверхплотного вещества / В. С. Секержицкий // *Вучоныя запіскі Брэсцкага дзяржаўнага ўніверсітэта імя А. С. Пушкіна.* – 2005. – Т. 1, ч. 2. – С. 82–93.

95. Саакян, Г. С. Явление пионизации вырожденного вещества / Г. С. Саакян, Л. Ш. Григорян // *Астрофизика.* – 1977. – Т. 13, вып. 2. – С. 295–311.

96. Гордеев, Д. В. К вопросу о влиянии сверхсильного магнитного поля и ядерного взаимодействия нейтронов на равновесные параметры сверх-

плотного вещества / Д. В. Гордеев, В. С. Секержицкий, С. С. Секержицкий // *Веснік Брэсцкага ун-та.* – 1999. – № 6. – С. 27–33.

97. Гордеев, Д. В. Об энергетических характеристиках газа взаимодействующих нейтронов в магнитном поле / Д. В. Гордеев, И. В. Секержицкий // *Веснік Брэсцкага ун-та.* – 1998. – № 4. – С. 26–29.

98. Григорян, Л. Ш. О наличии π -мезонов в тяжелых атомных ядрах / Л. Ш. Григорян, Г. С. Саакян // *Астрофизика.* – 1977. – Т. 13, вып. 3. – С. 463–471.

99. Секержицкий, В. С. К вопросу об учете пионизации ядер при термодинамическом описании холодного сверхплотного замагниченного вещества / В. С. Секержицкий // *Веснік Брэсцкага ун-та. Сер. прыродазнаўчых навук.* – 2003. – № 3 (36). – С. 48–51.

100. Липовецкий, С. С. Электронно-нуклонное вещество сверхплотной звезды с замороженным магнитным полем / С. С. Липовецкий, В. С. Секержицкий // *Астрон. ж.* – 1993. – Т. 70, вып. 6. – С. 1296–1302.

101. Дементей, Ю. И. Об уравнении состояния электронно-нуклонного вещества сверхплотной магнитной звезды / Ю. И. Дементей, В. С. Секержицкий, И. В. Секержицкий // *Астрон. ж.* – 1996. – Т. 73, № 6. – С. 930–933.

102. Секержицкий, И. В. О параметрах нейтронной астрофизической конфигурации с изменяющимся магнитным полем / И. В. Секержицкий // *Веснік Брэсцкага ун-та.* – 1999. – № 6. – С. 43–46.

103. Секержицкий, В. С. К вопросу о параметрах электронно-нуклонной конфигурации с изменяющимся магнитным полем / В. С. Секержицкий, И. В. Секержицкий, С. С. Секержицкий / Брестский гос. ун-т. – Брест, 1999. – 8 с. – Деп. в ВИНТИ 24.11.99, № 3465-В99 // *Веснік Брэсцкага ун-та.* – 1999. – № 6. – С. 102.

104. Секержицкий, И. В. О параметрах электронно-нуклонной конфигурации с изменяющимся магнитным полем / И. В. Секержицкий, С. С. Секержицкий // *Веснік Брэсцкага ун-та.* – 2000. – № 4. – С. 70–73.

105. Шульман, Г. А. Заселенность дискретных энергетических уровней Ландау заряженными частицами вырожденных замагниченных ферми-газов / Г. А. Шульман // *Изв. вузов. Физика.* – 1994. – № 1. – С. 9–13.

106. Шульман, Г. А. Энергия поляризованного магнитным полем невырожденного нерелятивистского электронного газа. I / Г. А. Шульман // *Изв. вузов. Физика.* – 1998. – № 11. – С. 97–101.

107. Шульман, Г. А. Энергия поляризованного магнитным полем невырожденного нерелятивистского электронного газа. II / Г. А. Шульман // *Изв. вузов. Физика.* – 1999. – № 2. – С. 46–49.

108. Шульман, Г. А. Диамагнетизм Ландау и определение продольной и поперечной составляющих средней кинетической энергии нерелятивист-

ского невырожденного электронного газа / Г. А. Шульман // Изв. вузов. Физика. – 1999. – № 2. – С. 50–55.

109. Масленников, В. О. Диамагнетизм Ландау и определение продольной и поперечной составляющих кинетической энергии вырожденного нерелятивистского электронного газа / В. О. Масленников, Г. А. Шульман // Изв. вузов. Физика. – 1999. – № 7. – С. 31–35.

110. Шульман, Г. А. Диамагнетизм Ландау, парамагнетизм Паули и рождение электронно-позитронных пар в невырожденной нерелятивистской плазме / Г. А. Шульман // Изв. вузов. Физика. – 1999. – № 11. – С. 68–71.

111. Масленников, В. О. Поляризация магнитным полем частиц невырожденного нерелятивистского нейтронного газа / В. О. Масленников, Г. А. Шульман // Изв. вузов. Физика. – 2000. – № 4. – С. 39–43.

112. Масленников, В. О. Качественная оценка составляющих кинетической энергии продольного непрерывного движения замагниченных нерелятивистских электронов в пределах уровня Ландау / В. О. Масленников, Г. А. Шульман // Изв. вузов. Физика. – 2000. – № 6. – С. 31–35.

113. Масленников, В. О. Распределение электронов по энергиям в поляризованном магнитным полем нерелятивистском невырожденном газе / В. О. Масленников, Г. А. Шульман // Изв. вузов. Физика. – 2000. – № 12. – С. 72–75.

114. Масленников, В. О. Диамагнетизм Ландау, парамагнетизм Паули и определение продольной и поперечной составляющих кинетической энергии вырожденного нерелятивистского электронного газа / В. О. Масленников, А. Н. Панкратьева, Г. А. Шульман // Изв. вузов. Физика. – 2001. – № 1. – С. 74–77.

115. Бисноватый-Коган, Г. С. Эволюция функции распределения электронов и спектра их излучения в магнитном поле / Г. С. Бисноватый-Коган, О. В. Шорохов // Астрон. ж. – 2000. – Т. 77, № 9. – С. 703–712.

116. Пинаева, Г. В. Изэнтропа вещества при высокой температуре / Г. В. Пинаева // Астрон. ж. – 1964. – Т. 41, вып. 1. – С. 25–27.

117. Иванов, М. А. Влияние сильного магнитного поля на устойчивость равновесных конфигураций горячей релятивистской плазмы / М. А. Иванов, С. В. Измайлов // Исследования по физике звезд: Сб. науч. тр. / Ленингр. гос. пед. ин-т. – Л., 1981. – С. 3–14.

118. Барышевский, В. Г. Ядерная оптика поляризованных сред / В. Г. Барышевский. – М. : Энергоатомиздат, 1995. – 320 с. : ил.

119. Секержицкий, В. С. О влиянии ядерного псевдомагнитного поля на характеристики нейтронного газа / В. С. Секержицкий // Веснік Брэсцкага ун-та. – 2000. – № 2. – С. 37 – 39.

120. Гордеев, Д. В. О влиянии ядерного псевдомагнитного поля на свойства электронно-нуклонного вещества / Д. В. Гордеев, В. С. Секержицкий, И. В. Секержицкий // Веснік Брэсцкага ун-та. – 2000. – № 4. – С. 46–50.

121. Серый, А. И. К вопросу о поляризации компонентов электронно-протонного вещества в магнитном поле / А. И. Серый // Веснік Брэсцкага ун-та. – 2001. – № 6. – С. 52–58.

122. Серый, А. И. Об эффектах ядерного псевдомагнетизма в вырожденной нуклонной среде / А. И. Серый // Веснік Брэсцкага ун-та. Сер. прыродазнаўчых навук. – 2006. – № 2 (26). – С. 33–43.

123. Иванов, М. А. Кинетическое равновесие β - процессов в горячем сверхплотном замагниченном веществе / М. А. Иванов, Г. А. Шульман // Астрон. ж. – 1980. – Т. 57, вып. 3. – С. 537–547.

124. Иванов, М. А. Нейтринное излучение энергии при β -взаимодействии электронов и позитронов с ядрами горячего вещества в присутствии квантующего магнитного поля / М. А. Иванов, Г. А. Шульман // Астрон. ж. – 1981. – Т. 58, вып. 1. – С. 138–145.

125. Шульман, Г. А. Энерговыделение неравновесных процессов нейтронизации вырожденных сверхзвезд в квантовом пределе замороженного магнитного поля / Г. А. Шульман // Астрон. ж. – 1990. – Т. 67, вып. 2. – С. 234–241.

126. Иванов, М. А. Фотодиссоциация ядер железа при коллапсе магнитной звезды / М. А. Иванов, Г. А. Шульман // Астрон. ж. – 1990. – Т. 67, вып. 2. – С. 326–333.

127. Шульман, Г. А. Тепловые эффекты неравновесных бета-процессов в сильном магнитном поле / Г. А. Шульман // Астрон. ж. – 1991. – Т. 68, вып. 5. – С. 984–991.

128. Иванов, М. А. Энергетический выход нейтрино при β -захвате нейтроном / М. А. Иванов, А. Е. Крапивной // Веснік Брэсцкага ун-та. – 2001. – № 4. – С. 35–44.

129. Иванов, М. А. Нейтринный выход энергии при β -распаде нейтрона / М. А. Иванов, Д. А. Шестак // Веснік Брэсцкага ун-та. – 2002. – № 4. – С. 64–76.

Научное издание

СЕКЕРЖИЦКИЙ Владимир Станиславович

**РАВНОВЕСНЫЕ СИСТЕМЫ ФЕРМИОНОВ
И БОЗОНОВ В МАГНИТНЫХ ПОЛЯХ**

Монография

Редактор **В.А. Плетюхов**