

УДК 372.852+372.853+537.622

В. С. СЕКЕРЖИЦКИЙ, А. И. СЕРЫЙ

Брест, БрГУ имени А. С. Пушкина

О МАГНИТНЫХ СВОЙСТВАХ СИСТЕМ ФЕРМИОНОВ

Несмотря на то что основные свойства диамагнетиков, парамагнетиков и ферромагнетиков (в классическом понимании соответствующих терминов) хорошо известны, исследования последних десятилетий показывают, что, например, а) ферромагнетизм может быть обусловлен не только обменными силами, описывающими взаимодействие электронов (в частности, на ферромагнитные свойства нуклонных систем могут оказывать заметное влияние ядерные силы), б) в присутствии квантующих магнитных полей нельзя однозначно ответить на вопрос о том, является ли вырожденный электронный газ парамагнитным или диамагнитным, поскольку магнитная восприимчивость испытывает заметные осцилляции, которые могут приводить к изменению ее знака (для нуклонов таких перемен знаков не обнаружено).

В связи с этим представляет интерес, в частности, сравнение магнитных свойств систем электронов и нуклонов. Соответствующие сведения представлены ниже в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Магнитные свойства систем электронов и нуклонов

Система		электронов	протонов	нейтронов
Диамагнетизм		Ландау [1, с. 613] для свободных электронов.	Ландау [1, с. 613].	Не наблюдается, так как нейтрон не имеет электрического заряда.
Парамагнетизм		а) Паули [2, с. 550]; б) ванфлековский [1, с. 241].	Паули [2, с. 550].	Паули [2, с. 550].
Ферромагнетизм за счет сил	обменных кулоновских	не менее четырех типов [3, с. 295].	Да [4, с. 50–58; 5, с. 553, 555].	Нет (нейтрон не вступает в кулоновское взаимодействие).
	ядерных	Нет (электроны не вступают в сильное взаимодействие).	Да (в присутствии нейтронов) [6, с. 48–60].	Да (в присутствии протонов) [5, с. 552, 554; 6, с. 48–60].

Таблица 2 – Сведения об исследованиях поведения магнитной восприимчивости и намагничения систем фермионов в квантующем магнитном поле при различных температурах

Система	Что исследовалось	Частицы		
		электроны	протоны	нейтроны
Вырожденная	магнитная восприимчивость	[7, с. 292; 8, с. 36] (нерелятивистские); [8, с. 40] (релятивистские); [9, с. 41–43] (ультрарелятивистские)	[8, с. 36] (нерелятивистские); [8, с. 40] (релятивистские)	[8, с. 36] (нерелятивистские)
Невырожденная	намагничение	[7, с. 296; 8, с. 57] (нерелятивистские)	[8, с. 57] (нерелятивистские)	
При низких отличных от нуля температурах	намагничение	[7, с. 295; 10, с. 14–15] (нерелятивистские); [11, с. 13–14] (релятивистские)	Сведения о соответствующих исследованиях отсутствуют, требуются дальнейшие исследования	

Следует отметить, что исследование электронного газа на предмет перехода из парамагнитного состояния в диамагнитное (и наоборот) дает одинаковые результаты как при исследовании изменения знака магнитной восприимчивости κ (с изменением значения индукции магнитного поля B), так и при исследовании изменения знака намагничения M , поскольку взаимосвязь между указанными величинами находится из простых соотношений на основе Ω -потенциала [7, с. 289]:

$$M = -\frac{1}{V} \left(\frac{\partial \Omega}{\partial B} \right)_{T, \mu}, \quad \kappa = -\frac{1}{VB} \left(\frac{\partial \Omega}{\partial B} \right)_{T, \mu}, \quad M = \kappa B. \quad (1)$$

Предложенные таблицы могут быть использованы в процессе преподавания электродинамики (в частности, темы «Магнитное поле в веществе») и отдельных разделов астрономии, поскольку в учебной программе по астрономии обычно присутствуют вопросы, связанные с магнитными полями астрофизических объектов [12, с. 97–101].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Физическая энциклопедия : в 5 т. / гл. ред. А. М. Прохоров ; редкол.: Д. М. Алексеев [и др.]. – М. : Совет. энцикл., 1988. – Т. 1 : Ааронова – Бома эффект – Длинные линии. – 704 с.

2. Физическая энциклопедия: в 5 т. / гл. ред. А. М. Прохоров ; редкол.: Д. М. Алексеев [и др.]. – М. : Большая рос. энцикл., 1992. – Т. 3 : Магнитноплазменный – Пойнтинга теорема. – 672 с.

3. Физическая энциклопедия: в 5 т. / гл. ред. А. М. Прохоров ; редкол.: Д. М. Алексеев [и др.]. – М. : Большая рос. энцикл., 1998. – Т. 5 : Стробоскопические приборы – Яркость. – 691 с.

4. Серый, А. И. К вопросу о магнитных полях белых карликов и Сверхновых II типа / А.И. Серый // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 4, Фізіка. Матэматыка. – 2013. – № 1. – С. 50–58.

5. Серый, А. И. Спиновая поляризация нуклонов. Пределы низких и высоких температур / А. И. Серый // Изв. РАН. Сер. физ. – 2015. – Т. 79, № 4. – С. 549–555.

6. Серый, А. И. О поправках к критерию Стонера для ядерной материи / А. И. Серый // Весн. Брэсц. ун-та. Сер. 4, Фізіка. Матэматыка. – 2013. – № 2. – С. 48–60.

7. Румер, Ю. Б. Термодинамика, статистическая физика и кинетика : учеб. пособие / Ю. Б. Румер, М. Ш. Рывкин. – 2-е изд., испр. и доп. – Новосибирск : Изд-во Новосиб. ун-та, 2000. – 608 с.

8. Секержицкий, В. С. Равновесные системы фермионов и бозонов в магнитных полях : монография / В. С. Секержицкий ; Брест. гос. ун-т им. А. С. Пушкина. – Брест : Изд-во БрГУ, 2008. – 198 с.

9. Серый, А. И. Об уточнении выражения для индукции ядерного псевдомагнитного поля. / А. И. Серый // К 225-летию со дня рождения К.Ф. Гаусса : сб. науч. работ. – Брест : Изд-во БрГУ, 2002. – С. 41–43.

10. Секержицкий, В. С. О вычислении термодинамических характеристик нерелятивистского электронного газа в квантующем магнитном поле при низких отличных от нуля температурах / В. С. Секержицкий, А. И. Серый // Современные научные исследования: актуальные вопросы, достижения и инновации: сб. ст. XVIII Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза : МЦНС «Наука и Просвещение». – 2021. – С. 12–15.

11. Секержицкий, В. С. О вычислении некоторых термодинамических характеристик релятивистского электронного газа в квантующем магнитном поле при низких отличных от нуля температурах / В. С. Секержицкий, А. И. Серый // Современная наука: актуальные вопросы, достижения и инновации: сб. ст. XIX Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч. – Пенза : МЦНС «Наука и Просвещение». – 2021. – Ч. 1. – С. 11–14.

12. Клищенко, А. П. Астрономия : учеб. пособие / А. П. Клищенко, В. И. Шупляк. – М. : Новое знание, 2004. – 224 с.