УДК

DOI: 10.18384/2310-7251-2018-4-54-65

ЭФФЕКТ МЕЙСНЕРА И КВАНТОВЫЙ ЗАХВАТ ЧАСТИЦ ПРОТОПЛАНЕТНОГО ОБЛАКА САТУРНА СОЗДАЮТ СТАБИЛЬНУЮ СИСТЕМУ В ВИДЕ СОМБРЕРО ИЗ КОЛЕЦ

Черный В.В.*Институт современной науки Агентства безопасности по инвестициям
и бизнесу в России**г. Москва, Российская Федерация*

Аннотация. Показано, как кольца Сатурна возникли из протопланетных ледяных частиц, движущихся вокруг планеты по хаотическим орбитам после появления магнитного поля Сатурна вследствие электромагнитных явлений. Из-за диамагнетизма и сверхпроводимости ледяных частиц все их хаотические орбиты постепенно переместились в плоскость магнитного экватора и образовали сомбреро-диск из колец и зазоров. Частицы колец Сатурна отделены друг от друга вытесненным из них магнитным полем. В итоге каждая частица оказывается запертой в трёхмерной магнитной яме, в том числе и за счёт явления квантовых вихрей Абрикосова. Этот механизм действует даже в том случае, если частицы могут иметь малую долю сверхпроводника. Кроме дефрагментации из-за гравитации ледяного тела размером с Титан, подлетевшего к Сатурну, столкновения с обломками приблизившейся Луны и метеоритами определённый вклад в кольцевую материю также могут вносить частицы замёрзшей воды, генерируемой гейзерами спутников Сатурна из-за магнитной связи между планетой и её спутниками, и это может даже создать новое кольцо. Из этого следует, что кольца были созданы в раннее время возникновения магнитного поля системы Сатурна.

Ключевые слова: кольца Сатурна, происхождение колец Сатурна, космический электромагнетизм, космическая сверхпроводимость, диамагнитное выталкивание в космосе, космический лёд.

THE MEISSNER EFFECT AND QUANTUM TRAPPING OF THE PARTICLES OF SATURN'S PROTOPLANETARY CLOUD PRODUCE A STABLE SYSTEM IN THE FORM OF SATURN RINGS

V. Cherny*Modern Science Institute, Security Agency for Investment and Business in Russia
Moscow, Russian Federation*

Abstract. It is shown that Saturn's rings originated from protoplanetary ice particles moving around the planet along chaotic orbits after the appearance of Saturn's magnetic field due to electromagnetic phenomena. Due to diamagnetism and the superconductivity of ice particles, all their chaotic orbits gradually moved to the plane of the magnetic equator and formed a sombrero disk of rings and gaps. The particles of Saturn's rings are separated from each other by a magnetic

field driven out of them. As a result, each particle is trapped in a three-dimensional magnetic well, including due to the phenomenon of quantum Abrikosov vortices. This mechanism works even if the particles may have a small fraction of the superconductor. In addition to defragmentation due to gravity of an icy body having a size of Titan that flew up to Saturn, and collisions with fragments of the approaching Moon and meteorites, particles of frozen water generated by the geysers of Saturn's satellites due to the magnetic coupling between the planet and its satellites can also contribute to the ring matter, which can result in the formation of a new ring. It is found that the rings are relict of the early days of the magnetic field of Saturn system.

Key words: Saturn's rings, origin of Saturn's rings, cosmic electromagnetism, cosmic superconductivity, diamagnetic extrusion in space, cosmic ice.

1. Введение

С тех пор, как Галилео Галилей увидел кольца Сатурна в 1610 г., вопросы об их происхождении, динамике, эволюции и возрасте остаются без ответа. Максвелл (1859) объяснил, что кольца состоят из частиц, и был уверен, что они упадут на планету. Многие учёные изучали кольца [1–16]. НАСА организовало четыре миссии к Сатурну: Pioneer, Voyager 1 и 2, и самую большую – Cassini (2004–2017). Но ответ на вопрос о происхождении колец остался открытым. Учёные НАСА отвечают на него встречным вопросом: «После финала миссии Кассини существует ли окончательный консенсус относительно происхождения и возраста колец?» [7].

Популярное объяснение происхождения колец основано на гравитационной дефрагментации массивного тела, приближающегося к Сатурну [4; 8]. Но оно всё-таки имеет некое фантастическое предположение и не объясняет ясно, как сомбреро-диск колец был так хорошо организован, и, естественно, не даёт объяснения электромагнитным явлениям наблюдаемых в кольцах. К тому же уже нашли 63 спутника Сатурна, а теория происхождения колец, построенная на гравитационных резонансах, строилась для 13 спутников.

Картина колец Сатурна похожа на полосы частиц железа и пустоты в неоднородном магнитном поле магнита на лабораторном столе (рис. 1).

Рис. 1. Частицы железа создают плотные и разреженные области (сомбреро) в неоднородном магнитном поле вблизи магнита на лабораторном столе¹.

¹ Magnet with Iron Filings [Электронный песчупс]. URL: <https://wadevenden.files.wordpress.com/2014/07/magnet.jpg?w=500> (дата обращения: 04.11.2018)

Чтобы использовать это сходство, обратим внимание на параметры колец Сатурна и их окружающее пространство. Результаты, полученные миссией Кассини, показывают, что кольца состоят из 93% льда и 7% углеродного вещества. Температура вещества около колец 70–110 К [5; 6].

Мы предполагаем, что сверхпроводящие вещества присутствуют как в ледяных частицах колец, так и в поясе астероидов [11–17]. Высокотемпературная сверхпроводимость была открыта J.G. Bednorz и K.A. Muller в 1986 г. Лёд – это сложное образование, знаний о космическом льде практически нет. В 1986 г. Бабушкина и др. продемонстрировали, что лёд обладает свойствами сверхпроводимости [18]. В 2015 г. F. Yen и T. Gao показали квантовые явления (сверхпроводимость) во льде [19]. Сверхпроводимость углерода C36 показана М. Cote и др. в 1998 г. [20]. Недавно был доказан важный факт, что даже небольшое количество сверхпроводящей материи может удерживать образец более чем в 70 000 раз больше собственного веса [21] из-за квантовой природы сверхпроводников II типа [22].

В 1995 г. В.В. Черный и А.Ю. Поспелов [11–17] предположили, что кольца Сатурна могут быть образованы в результате взаимодействия диамагнитных и сверхпроводящих ледяных частиц протопланетного облака планеты с её магнитным полем. Дальнейшие исследования доказали обоснованность такого подхода. Применение этой теории к результатам измерений миссии Кассини показали, что можно объяснить: происхождение, эволюцию, динамику и структуру колец; почему планетарные кольца в Солнечной системе появляются только после пояса астероидов; почему существуют сильное сжатие и острые края колец; почему частицы колец разделяются и не слипаются; почему сомбреро-диск колец стабилен во времени; какой возраст колец; почему есть поток пыли от колец на планету; они объясняют азимутальную яркость колец Сатурна; поведение спиц в кольце В; высокий коэффициент отражения и низкую яркость колец в радиочастотном диапазоне; широкополосное импульсное излучение колец; частотные аномалии теплового излучения колец в диапазоне от 100 мкм – 1 см; разницу в цвете в небольших пределах колец; аномальное обратное отражение циркулярно-поляризованных микроволн выше 1 см; атмосферу неизвестного происхождения около колец; существование волн плотности и изгибных волн в кольцах; почему Земля не имеет колец.

Миссия Pioneer зафиксировала деформацию линий магнитного поля вблизи кольца F вследствие вытеснения их из частиц. Это искажение имеет такую же природу, когда сверхпроводящий керамический образец выталкивает наружу внутреннее магнитное поле. На рис. 2 показана картина того, как диск кольца сомбреро сильно возмущает картину линий магнитных полей Сатурна в области магнитного экватора из-за диамагнетизма и сверхпроводимости ледяных частиц колец.

Рис. 2. Демонстрация, как сомбреро-диск колец искажает картину линий магнитных полей Сатурна в области магнитного экватора из-за сверхпроводимости и диамагнетизма ледяных частиц колец.

На рис. 3 хорошо виден острый край кольца Урана. Плотность частиц внутри кольца увеличивается по направлению к внешнему краю кольца. Частицы удерживаются внутри колец магнитным полем, исходящим из них.

Рис. 3. Виден острый край кольца Урана. Плотность частиц внутри кольца увеличивается вблизи внешнего края кольца (Voyager / JPL / Hubble Heritage Team (NASA, ESA)). Частицы удерживаются внутри колец магнитным полем, вытесненным из них.

2. Обоснование происхождения колец Сатурна из-за сверхпроводимости

2.1. Создание диска колец из ледяных частиц протопланетного облака

Используем общую идею «эволюции допланетного облака и образования Земли и планет» В.С. Сафронова [2], отмеченную международными премиями О.Ю. Шмидта (1974) и Д.П. Койпера (1990). Из-за трудности решения задачи эта идея никем не была использована ранее. Следуя идеям Сафронова, предполагаем, что до появления магнитного поля Сатурна все ледяные частицы про-

топланетного облака двигались вокруг Сатурна по хаотическим орбитам. С появлением магнитного поля Сатурна частицы начинают взаимодействовать с магнитным полем за счёт их сверхпроводимости. На движение частиц начинает влиять дополнительная сила диамагнитного выталкивания, приводящая частицы в дополнительное азимутально-орбитальное движение за счёт эффекта Мейснера. Если магнитное поле планеты $\mathbf{H}$, а планетарный магнитный момент $\boldsymbol{\mu}$, то магнитное поле в любой конкретной точке внутри протопланетного облака, находящегося на расстоянии r , можно представить как:

$$\mathbf{H} = \frac{3 \cdot \mathbf{r} \cdot (\mathbf{r}, \boldsymbol{\mu})}{r^5} - \frac{\boldsymbol{\mu}}{r^3}. \quad (2.1)$$

Сверхпроводящая сфера радиуса R внутри протопланетного облака имеет магнитный момент:

$$\mathbf{M} = -R^3 \cdot \mathbf{H}. \quad (2.2)$$

Энергию сверхпроводника в магнитном поле можно представить в виде:

$$U_H = -(\mathbf{M}, \mathbf{H}) = R^3 \cdot H^2. \quad (2.3)$$

Помещая начало системы координат в центр планеты, и располагая ось z вдоль магнитного момента планеты (перпендикулярно экватору), получаем выражение для магнитной энергии в виде:

$$U_H = \frac{R^3 \mu^2}{r^6} (3 \cos^2 \theta + 1). \quad (2.4)$$

Здесь θ – угол между вектором $\mathbf{r}$ и осью z . Из (2.4) видно, что магнитная энергия сверхпроводящих частиц имеет минимальное значение, если $\cos \theta = 0$. Орбиты всех частиц, вращающихся внутри протопланетного облака, должны двигаться к плоскости магнитного экватора и создавать вокруг планеты достаточно сжатый тонкий диск, поскольку магнитная энергия растёт в обе стороны от экватора планеты. Магнитный экватор Сатурна практически совпадает с географическим экватором. Все частицы внутри диска колец сомбреро будут находиться на кеплеровских орбитах, где существует баланс гравитации, центробежной и магнитной силы диамагнитного выталкивания.

2.2. Расталкивание и столкновение частиц в кольцах

Определим энергию взаимодействия двух сверхпроводящих частиц с магнитными моментами $\boldsymbol{\mu}_{1z}$ и $\boldsymbol{\mu}_{2z}$ находящихся в положениях $\mathbf{r}_1$ и $\mathbf{r}_2$ в виде:

$$U = -\boldsymbol{\mu}_1 \mathbf{H}_2, \quad (2.5)$$

Магнитное поле $\mathbf{H}_2$, создаваемое частицей с $\boldsymbol{\mu}_2$, можно представить в виде:

$$\mathbf{H}_2 = \frac{3(\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2)(\boldsymbol{\mu}_2(\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2))}{|\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2|^5} - \frac{\boldsymbol{\mu}_2}{|\mathbf{r}_1 - \mathbf{r}_2|^3}. \quad (2.6)$$

Если частица с магнитным моментом $\boldsymbol{\mu}_2$ находится в $\mathbf{r}_2 = 0$, то энергия взаимодействия двух частиц (2.5) принимает вид:

$$U = -\frac{3(\boldsymbol{\mu}_1 \mathbf{r}_1)(\boldsymbol{\mu}_2 \mathbf{r}_1)}{|\mathbf{r}_1|^5} + \frac{\boldsymbol{\mu}_1 \boldsymbol{\mu}_2}{|\mathbf{r}_1|^3}. \quad (2.7)$$

Планетарное магнитное поле в плоскости колец Сатурна совпадает с осью вращения планеты. Если ось Z направлена вдоль оси вращения планеты, то магнитный момент частиц будет направлен вдоль направления оси Z . В цилиндрической системе координат (ρ, φ, z) для (2.7) получаем:

$$\begin{aligned} U &= -\left(\frac{3z^2}{(\rho^2 + z^2)^{5/2}} - \frac{1}{(\rho^2 + z^2)^{3/2}} \right) \mu_{1z} \mu_{2z} = \\ &= \frac{\rho^2 - 2z^2}{(\rho^2 + z^2)^{5/2}} \mu_{1z} \mu_{2z}. \end{aligned} \quad (2.8)$$

Оценим взаимодействие двух сверхпроводящих частиц с магнитными моментами $\boldsymbol{\mu}_{1z}$ and $\boldsymbol{\mu}_{2z}$ из (2.8), когда они расположены в одной плоскости ($z=0$), и когда они расположены в разных плоскостях, но на одной оси ($\rho=0$). Когда $z=0$, выражение для энергии взаимодействия принимает вид:

$$U = \frac{\mu_{1z} \mu_{2z}}{\rho^3}, \quad (2.9)$$

Из (2.9) следует, что две частицы будут отталкиваться друг от друга и поддерживать расстояние между собой. Этот результат был подтверждён данными миссии Кассини: частицы колец сомбреро разделены. Если $\rho=0$, то из (2.8) получаем, что:

$$U = -\frac{\mu_{1z} \mu_{2z}}{|z|^3}, \quad (2.10)$$

Теперь обе частицы притягиваются друг к другу. Они могут даже сталкиваться, слипаться и образовывать большие скопления или глыбы льда. После этого частицы более 50 метров в диаметре разрушаются на малые части взаимным действием силы тяжести и центробежной силы. Процесс столкновения частиц имеет также экспериментальное подтверждение по данным миссии Кассини.

3. Квантовые явления происхождения и устойчивости колец Сатурна

На конференции ASTC в 2011 г. было продемонстрировано, что даже небольшое количество сверхпроводящего вещества в образце может удерживать в 70 000 раз больше собственного веса [21] и оказывать сильное влияние на движение в пространстве всего образца. В основе этого лежит явление вихрей Абрикосова (1957) как квантовой природе сверхпроводников второй группы [22]. Нити линий магнитного поля попадают в ловушку внутри сверхпроводника (рис. 4). Некоторые линии потока образуют форму штифта (Рис. 4а, Рис. 4б), и они не могут двигаться по горизонтали. Сверхпроводник не позволяет линиям

магнитных полей перемещаться. Он блокирует их на месте, и этим образец блокирует своё перемещение по горизонтали.

Данные, полученные из миссии Кассини, показывают, что элементы частиц колец состоят из 93% льда и 7% углеродного вещества. Лёд может проявлять свойства сверхпроводимости [18] и диамагнетизма [19]. Сверхпроводимость углерода C36 показана в [20]. Это означает, что даже небольшого количества сверхпроводящей материи частиц колец Сатурна будет достаточно для того, чтобы вся частица проявила поведение сверхпроводника II типа [21; 22].

Рис. 4. а) Некоторые линии магнитного поля становятся «штифтами», они не двигаются. Этот тип сверхпроводника позволяет только частично вытеснить магнитное поле. Объем образца пронизан своеобразными нитями внутри (темными линиями), известными как «вихри Абрикосова», где сверхпроводник становится нормальным проводником. Но весь образец ведёт себя как сверхпроводник².

б) Диск сверхпроводящих ледяных частиц колец, расположенный вдоль горизонтальной плоскости экватора, взаимодействует с вертикальными линиями магнитного поля Сатурна. Видно, что некоторые магнитные линии будут вытеснены за пределы образца сверхпроводника II типа. И в то же время некоторые из них останутся внутри образца, а сверхпроводник блокирует эти линии магнитного поля внутри себя³.

Следовательно, сверхпроводящие ледяные частицы, попавшие в сомбреро-диск Сатурна, удерживаются в пределах трёхмерного магнитного колодца благодаря силе Мейснера и действию квантовой блокировки, захвата и левитации вследствие явления вихрей Абрикосова. Как только частицы выйдут на орбиту вблизи плоскости магнитного экватора, они будут удерживаться магнитным давлением с обеих сторон плоскости вдоль оси Z. Это происходит потому, что магнитная энергия частиц вдоль меридиана минимальна на магнитном экваторе. Все частицы в кольцевом диске горизонтально стабилизированы квантовым эффектом блокировки, индуцированным вихрями Абрикосова, и квантовой левитацией.

² Сверхпроводник в магнитном поле. Эффект Мейснера [Электронный ресурс] // Make It Quantum : [сайт]. URL: <http://makeitquantum.ru/superconductor-in-magnetic-field/> (дата обращения: 4.11.2018).

³ Flux pinning [Электронный ресурс] // Wikipedia : [сайт]. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Flux_pinning (дата обращения: 04.11.2018).

4. Эволюция колец за счёт магнитной связи Сатурна и его спутников

Другая ситуация возникает, когда частицы замёрзшей воды, поступающие из гейзеров геологически активных спутников Сатурна, могут попасть на диск колец из-за магнитной связи между Сатурном и его спутниками. Такая экзотическая ситуация связи между Сатурном и его спутником Энцелад была обнаружена миссией Кассини [10] (рис. 5). Эта связь обеспечивает поток ледяных частиц замороженной воды гейзеров спутника в кольца.

Рис. 5. Снимок NASA/JPL/JHUAPL/University of Colorado/Central Arizona College/SSI, 20.04.2011. Магнитное поле обеспечивает путь для потока электронов, как показано на рисунке. Существует магнитная связь между Сатурном и спутником Энцелад⁴.

В 2005 г. космический аппарат Кассини сделал несколько близких пролётов Энцелада, исследовав его поверхность и окружающую среду. И обнаружил богатые водой шлейфы, выходящие из южной полярной области [10]. Криовулканы вблизи южного полюса выбрасывают в космос гейзеровидные струи пара длиной до 500 км. В них есть молекулярный водород и другие летучие вещества и твёрдый материал, в том числе кристаллы хлорида натрия и частиц льда, общим весом около 200 кг в секунду. Выявлено более 100 гейзеров. Часть водяного пара падает обратно как «снег»; остальные ускользают и снабжают большую часть материала, составляющего кольцо E Сатурна (рис. 5). Интенсивность гейзеров Энцелада зависит от того, насколько близко или далеко спутник от Сатурна.

⁴ Electrical Circuit Between Saturn and Enceladus [Электронный ресурс] // NASA Science: Solar System Exploration : [сайт]. URL: <https://saturn.jpl.nasa.gov/resources/5289/PIA13765> (дата обращения: 04.11.2018)

Механизм подачи частиц в диск колец из гейзера спутника Сатурна не продолжается вечно. Он работает только в период его геологической активности. Но это может произойти в любой момент истории системы Сатурна. Это также наводит на мысль, что любой другой спутник когда-то имел геологическую активность, и его гейзеры могли также снабжать другие кольца частицами замёрзшей воды [13].

Если рядом с диском колец летят какие-то обледеневшие частицы, поступающие из гейзеров спутника, то хорошо организованная кольцевая структура, где магнитная энергия частиц минимальна, притягивает частицы внутрь диска колец и захватывает их внутрь.

Заключение

Из приведённого выше рассмотрения следует, что электромагнетизм играет важную роль в происхождении, динамике и эволюции колец Сатурна. Имеется наглядная аналогия с внешним видом колец Сатурна хорошо известного в общей физике опыта, когда частицы железа на лабораторном столе создают полосы и зазоры вокруг магнита в присутствии гравитационного поля Земли. Но частицы колец Сатурна разделены друг от друга магнитным полем, которое выталкивается из них.

Проведённое нами электромагнитное моделирование показывает, что дисковая система из частиц колец возникла через некоторое время после появления магнитного поля Сатурна. Формирование картины колец может быть результатом взаимодействия диамагнитных ледяных частиц и ледяных частиц, легированных сверхпроводящим углеродом с неоднородным магнитным полем планеты. Согласие результатов теоретического моделирования с данными измерений миссии Кассини подтверждает тот факт, что кольца в первую очередь являются продуктом возникновения и формирования магнитного поля системы Сатурна. Разумеется, гравитационные взаимодействия во всей сложной системе Сатурна и его 63 спутников оказывают влияние на окончательную картину диска колец.

Конечно, кольца, которые мы видим сегодня, не совсем такие, какими они были в момент своего начального формирования. Создание диска колец не является одноразовым событием. Процесс существования диска колец имеет глубокую историю с самого момента формирования Солнечной системы. История возникновения колец начинается с динамики их начального происхождения из ледяных частиц протопланетного облака за счёт эффекта Мейснера, а затем – за счёт квантовой блокировки и квантового захвата частиц в плоскости магнитного экватора вихрями Абрикосова. Кольца могут терять частицы, когда за счёт столкновений они уменьшаются в размерах, и тогда они падают на Сатурн, и это тоже было зарегистрировано измерениями Кассини. Процесс наполнения новыми частицами самих колец продолжается до сих пор благодаря частицам, поступающим в кольца из гейзеров спутника Сатурна.

Статья поступила в редакцию 18.09.2018 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Maxwell on Saturn's rings / Brush S.G., Everitt C.W.F., Garber E. (eds.). Cambridge, MA, MIT Press Publ., 1983. 213 p.
2. Safronov V.S. Evolution of the protoplanetary cloud and formation of the Earth and the planets. Jerusalem, Israel Program for Scientific Translations Publ., 1972. 212 p.
3. Alfvén H. Solar system history as recorded in the Saturnian ring structure // *Astrophysics and Space Science*. 1983. Vol. 97. Iss. 1. P. 79–94.
4. Fridman A.M., Gorkavyy N.N. *Physics of Planetary Rings*. Berlin, Springer-Verlag, 1999. 437 p.
5. Cassini arrives at Saturn // *Science*. 2005. Vol. 307. Iss. 571. P. 1222–1276.
6. An Evolving View of Saturn's Dynamic Rings / Cuzzi J.N., Burns J.A., Charnoz S., et al. // *Science*. 2010. Vol. 327. Iss. 5972. P. 1470–1475.
7. Estrada P.R., Durisen R.H., Cuzzi J.N. Ballistic transport: After the Cassini grand finale, is there a final consensus on ring origin and age? // *American Geophysical Union Meeting*. New Orleans, 12.12.2017. P. 298112.
8. Canup R.M. Origin of Saturn's rings and inner moons by mass removal from a lost Titan-sized satellite // *Nature*. 2010. Vol. 468. P. 943–946.
9. Tiscareno M.S. et al. Observations of Ejecta Clouds Produced by Impacts onto Saturn's Rings // *Science*. 2013. Vol. 340. Iss. 6131. P. 460–464.
10. Enceladus' Water Vapor Plume / Hansen C.J., Esposito L., Stewart A.I.F., et al. // *Science*. 2006. Vol. 311. Iss. 5766. P. 1422–1425.
11. Tchernyi V.V., Pospelov A.Yu. About hypothesis of the superconducting origin of the Saturn's rings // *Astrophysics and Space Science*. 2007. Vol. 307. Iss. 4. P. 347–356.
12. Tchernyi (Cherny) V.V. About role of electromagnetism to the Saturn rings origin – To the unified theory of the planetary rings origin // *International Journal of Astronomy and Astrophysics*. 2013. Vol. 3. No. 4. P. 412–420.
13. Tchernyi V.V., Pospelov A.Yu. Superconductivity of Saturn Rings: Quantum Locking, Rings Disc Thickness and Its Time Creation // *Journal of Modern Physics (special issue on Advance in Superconducting Physics)*. 2018. Vol. 9. No. 3. P. 419–432.
14. Girich S.V., Pospelov A.Yu., Tchernyi V.V. Radar Data Explanation via Superdiamagnetic Model of Saturn's Rings // *Bulletin of the American Astronomical Society*. 1998. Vol. 30. P. 1043.
15. Tchernyi V.V. et al. Are Saturn rings superconducting? (Super diamagnetism and possible superconductivity of planetary rings) // *Huntsville Space Physics Colloquium*. University of Alabama, Huntsville. NASA Marshall Space Flight Center, 20.08.1999 [Электронный ресурс]. URL: http://solar-b.msfc.nasa.gov/ssl/colloquia/99aug20_spcoll.htm (дата обращения: 20.08.2017).
16. Tchernyi V.V. Possible superconductivity of Saturn's rings // *Colloquia: Spring/Summer*. Institute for Astronomy, University of Hawaii, 7.08.2002: [Электронный ресурс]. URL: http://www.ifa.hawaii.edu/colloquia/schedule_021.html (дата обращения: 7.08.2018).
17. Tchernyi V.V., Pospelov A.Yu. Quantum Locking and the Meissner Effect Lead to the Origin and Stability of the Saturn Rings System // *International Journal of Astronomy and Astrophysics*. 2018. Vol. 8. No. 1. P. 104–120.
18. Сверхпроводимость льда при высоких давлениях / Бабушкина Г.В., Кобелев Л.Я., Яковлев Е.Н., Бабушкин А.Н. // *Физика твёрдого тела*. 1986. Т. 28. № 12. С. 3732–3734.
19. Yen F., Gao T. Dielectric anomaly in ice near 20 K: evidence of macroscopic quantum phenomena // *The Journal of Physical Chemistry Letters*. 2015. Vol. 6. Iss. 14. P. 2822–2825.

20. Electron-Phonon Interactions in Solid C36 / Côté M., Grossman J.C., Cohen M.L., Louie S.G. // *Physical Review Letters*. 1998. Vol. 81. Iss. 3. P. 697–700.
21. Deutscher G., Azoulay M., Almog B. Quantum levitation, quantum locking, quantum trapping // *ASTC Annual Conference*. Maryland [Электронный ресурс]. URL: https://www.ted.com/talks/boaz_almog_levitates_a_superconductor#t-7666 (дата обращения: 15.10.2018).
22. Abrikosov A.A. On the magnetic properties of superconductors of the second group // *Journal of Experimental and Theoretical Physics*. 1957. Vol. 5. No. 6. P. 1174–1182.

REFERENCES

1. Maxwell on Saturn's rings / Brush S.G., Everitt C.W.F., Garber E. (eds.). Cambridge, MA, MIT Press Publ., 1983. 213 p.
2. Safronov V.S. Evolution of the protoplanetary cloud and formation of the Earth and the planets. Jerusalem, Israel Program for Scientific Translations Publ., 1972. 212 p.
3. Alfvén H. Solar system history as recorded in the Saturnian ring structure. In: *Astrophysics and Space Science*, 1983, vol. 97, iss. 1, pp. 79–94.
4. Fridman A.M., Gorkavyy N.N. *Physics of Planetary Rings*. Berlin, Springer-Verlag, 1999. 437 p.
5. Cassini arrives at Saturn. In: *Science*, 2005, vol. 307, iss. 5713, pp. 1222–1276.
6. Cuzzi J.N., Burns J.A., Charnoz S., et al. An Evolving View of Saturn's Dynamic Rings. In: *Science*, 2010, vol. 327, iss. 5972, pp. 1470–1475.
7. Estrada P.R., Durisen R.H., Cuzzi J.N. Ballistic transport: After the Cassini grand finale, is there a final consensus on ring origin and age? In: *American Geophysical Union Meeting*. New Orleans, 12.12.2017. P. 298112.
8. Canup R.M. Origin of Saturn's rings and inner moons by mass removal from a lost Titan-sized satellite. In: *Nature*, 2010, vol. 468, pp. 943–946.
9. Tiscareno M.S. et al. Observations of Ejecta Clouds Produced by Impacts onto Saturn's Rings. In: *Science*, 2013, vol. 340, iss. 6131, pp. 460–464.
10. Hansen C.J., Esposito L., Stewart A.I.F., et al. Enceladus' Water Vapor Plume. In: *Science*, 2006, vol. 311, iss. 5766, pp. 1422–1425.
11. Tchernyi V.V., Pospelov A.Yu. About hypothesis of the superconducting origin of the Saturn's rings. In: *Astrophysics and Space Science*, 2007, vol. 307, iss. 4, pp. 347–356.
12. Tchernyi (Cherny) V.V. About role of electromagnetism to the Saturn rings origin – To the unified theory of the planetary rings origin. In: *International Journal of Astronomy and Astrophysics*, 2013, vol. 3, no. 4, pp. 412–420.
13. Tchernyi V.V., Pospelov A.Yu. Superconductivity of Saturn Rings: Quantum Locking, Rings Disc Thickness and Its Time Creation. In: *Journal of Modern Physics* (special issue on Advance in Superconducting Physics), 2018, vol. 9, no. 3, p. 419–432.
14. Girich S.V., Pospelov A.Yu., Tchernyi V.V. Radar Data Explanation via Superdiamagnetic Model of Saturn's Rings. In: *Bulletin of the American Astronomical Society*, 1998, vol. 30, pp. 1043.
15. Tchernyi V.V. et al. Are Saturn rings superconducting? (Super diamagnetism and possible superconductivity of planetary rings). In: *Huntsville Space Physics Colloquium*. University of Alabama, Huntsville. NASA Marshall Space Flight Center, 20.08.1999. Available at: http://solar-b.msfc.nasa.gov/ssl/colloquia/99aug20_spcoll.htm (дата обращения: 20.08.2017).
16. Tchernyi V.V. Possible superconductivity of Saturn's rings. In: *Colloquia: Spring/Summer*. Institute for Astronomy, University of Hawaii, 7.08.2002. Available at: http://www.ifa.hawaii.edu/colloquia/schedule_021.html (дата обращения: 7.08.2018).

17. Tchernyi V.V., Pospelov A.Yu. Quantum Locking and the Meissner Effect Lead to the Origin and Stability of the Saturn Rings System. In: *International Journal of Astronomy and Astrophysics*, 2018, vol. 8, no. 1, p. 104–120.
18. Babushkina G.V., Kobelev L.Ya., Yakovlev E.N., Babushkin A.N. [Superconductivity of ice under high pressures]. In: *Fizika tverdogo tela* [Physics of the Solid State], 1986, vol. 28, no. 12, pp. 3732–3734.
19. Yen F., Gao T. Dielectric anomaly in ice near 20 K: evidence of macroscopic quantum phenomena. In: *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 2015, vol. 6, iss. 14, pp. 2822–2825.
20. Côté M., Grossman J.C., Cohen M.L., Louie S.G. Electron-Phonon Interactions in Solid C36. In: *Physical Review Letters*, 1998, vol. 81, iss. 3, pp. 697–700.
21. Deutscher G., Azoulay M., Almog B. Quantum levitation, quantum locking, quantum trapping. In: *ASTC Annual Conference*. Maryland. Available at: https://www.ted.com/talks/boaz_almog_levitates_a_superconductor#t-7666 (дата обращения: 15.10.2018).
22. Abrikosov A.A. On the magnetic properties of superconductors of the second group. In: *Journal of Experimental and Theoretical Physics*, 1957, vol. 5, no. 6, pp. 1174–1182.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Черный Владимир Викторович – доктор физико-математических наук, профессор, директор Института современной науки Агентства безопасности по инвестициям и бизнесу в России;
e-mail: chernyv@list.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Vladimir V. Cherny – Doctor in Physical and Mathematical Sciences, Professor, Director of Modern Science Institute at Security Agency for Investment and Business in Russia;
e-mail: chernyv@list.ru.

ПРАВИЛЬНАЯ ССЫЛКА НА СТАТЬЮ

Черный В.В. Эффект Мейснера и квантовый захват частиц протопланетного облака Сатурна создают стабильную систему в виде сомбреро из колец // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Физика-Математика. 2018. № 4. С. 54–65.

DOI: 10.18384/2310-7251-2018-4-54-65

FOR CITATION

Cherny V.V. The Meissner effect and quantum trapping of the particles of Saturn's protoplanetary cloud produce a stable system in the form of Saturn rings. In: *Bulletin of Moscow Region State University. Series: Physics and Mathematics*, 2018, no. 4, pp. 54–65.

DOI: 10.18384/2310-7251-2018-4-54-65