

нечный цикл, Вспышка на Солнце). У звёзд, расположенных на главной последовательности диаграммы Герцшпрунга — Ресселла, обнаружены хромосферы, для ~ 10 таких звёзд удалось проследить звёздный цикл, наблюдая изменения интенсивности хромосферных линий кальция. Рентг. наблюдения, выполненные со спутника «HEAO-2», позволили обнаружить горячие короны у большого кол-ва звёзд разл. спектральных классов (от самых горячих O, B-звёзд до холодных карликов классов K, M). У звёзд типа ВУ Дракона поверхность покрывается пятнами на 20—30% (у Солнца пятна покрывают не более 2% поверхности). На звёздах типа UV Кита и ряде др. обнаружены мощные вспышки, аналогичные солнечным. Известна одна звезда (ξ Волопаса), у к-рой наряду с косвенными свидетельствами (наличием пятен) прямо по эффекту Зеемана зарегистрировано поле ≈ 2500 Э.

Очень сильные магн. поля имеются у ряда звёзд, находящихся на заключит. стадиях эволюции звёзд. У нек-рых белых карликов, как показывают наблюдения круговой поляризации их непрерывного излучения, магн. поля достигают 10^6 — 10^8 Э. Ещё более сильные магн. поля характерны для пульсаров, в к-рых магн. поле служит передаточным звеном, трансформирующим энергию вращения звезды в энергию частиц и излучения. Необходимое для такой трансформации поле порядка 10^9 — 10^{12} Э. Очень сильные магн. поля удалось обнаружить также у нейтронных звёзд, входящих в состав двойных звёздных систем, напр. у рентгеновских пульсаров. Исследование диаграммы направленности и поляризации излучения позволяет делать выводы о величине и геометрии магн. поля рентг. пульсара. Наблюдениям удовлетворяют модели с сильным (10^{10} — 10^{13} Э) полем. Для прямых измерений этих полей используют спектральные линии, обусловленные излучением электронов в магн. поле (гириляции). Гириляция обнаружена, напр., в спектре рентг. пульсара Her X-1. У нейтронных звёзд, являющихся источниками гамма-всплесков, магн. поля (определяемые по гириляциям) достигают значений (2—7) $\cdot 10^{12}$ Э.

Как впервые показал В. Л. Гинзбург, незаряженная чёрная дыра не должна обладать магн. полем. При коллапсе звезды дипольный и более высокие магн. моменты асимптотически исчезают. Однако магн. поля, по-видимому, играют существенную роль в процессах, происходящих в окрестностях чёрных дыр. В частности, согласно существующим теориям, в двойных звёздных системах, один из компонентов к-рых является чёрной дырой, с помощью магн. поля осуществляется перенос момента кол-ва движения газа, падающего на чёрную дыру, и тем самым формирование диска, излучающего в рентг. диапазоне.

Происхождение М. п. з. связывают с двумя осн. механизмами — усилением путём сжатия поля, существовавшего в момент образования звезды, и усилением поля в результате движений проводящего вещества внутри звезды. Звёзды образуются из замкнутой межзвёздной среды (см. *Звездообразование*). Плотность обычной звезды типа Солнца в 10^{24} раз превосходит плотность межзвёздной среды. Поэтому при сжатии с сохранением магн. потока (адиабатич. сжатии) межзвёздное магн. поле порядка неск. мкЭ превратилось бы в поле $\sim 10^{10}$ Э, что противоречит наблюдениям. Представление об адиабатич. сжатии магн. поля в процессе образования звезды справедливо лишь для нек-рых типов звёзд (A-звёзды, пульсары, возможно, белые карлики). У большинства звёзд магн. поле исчезает и восстанавливается за времена, короткие по сравнению с характерными временами эволюции звёзд. Напр., у Солнца и подобных ему звёзд главной последовательности магн. поле изменяется с периодом ~ 10 лет. Такие быстрые изменения невозможно объяснить *джозелевыми потерями* или эволюц. изменениями структуры звезды. Они могут происходить только в результате преобразо-

вания магн. полей под действием движений проводящего вещества звёзд. Наиб. эффективно магн. поле изменяют неоднородное вращение и конвективные движения (см. *Гидромагнитное динамо*).

Лит.: Пикельнер С. Б., Основы космической электродинамики, 2 изд., М., 1966; Паркер Е. Н., Космические магнитные поля, пер. с англ., ч. 1—2, М., 1982.

А. А. Румякин.

МАГНИТНЫЕ СВЕРХПРОВОДНИКИ — соединения, к-рые обладают как сверхпроводящими, так и магн. свойствами (сверхпроводящим и магн. упорядочением электронной подсистемы). По характеру участия электронов в этих двух типах упорядочения М. с. можно разделить на два класса. К первому относят соединения, в к-рых *сверхпроводимость* обусловлена электронами проводимости, а *магнетизм* связан с *d*- или *f*-локализованными электронами ионов переходных элементов, входящих в состав соединения. Ко второму классу относят соединения, в к-рых и магнетизм, и сверхпроводимость связаны с одними и теми же электронами проводимости (коллективизир. электронами).

В соединениях с магнетизмом локализованных электронов *магнитные моменты* близки к номинальным значениям и составляют неск. *магнетонов* Бора (μ_B) на атом (ион). В соединениях с магнетизмом коллективизир. электронов магн. моменты малы, порядка десятых или сотых μ_B . Среди наиб. изученных М. с. тройные соединения типа $R\text{Rh}_2\text{B}_4$ и RMO_6S_8 (R — редкоземельный элемент) относятся к первому классу, а соединения RRh_2Si_2 , RPd_2Sn и Y_6Co_7 — ко второму классу [1, 2]. Последние ещё мало изучены, поэтому далее рассматриваются только системы первого класса.

Впервые непротиворечиво проблема сосуществования сверхпроводимости и магнетизма в одном и том же соединении была подчеркнута в 1956 В. Л. Гинзбургом [3], к-рый указал на антагонистический, взаимоисключающий характер ферромагнетизма и сверхпроводимости. Конкуренция этих двух типов упорядочения обусловлена двумя механизмами взаимодействия сверхпроводящих электронов и локализованных магн. моментов.

Первый, эл.-магн., механизм осуществляется через магн. поле, к-рое индуцируется магн. моментами и сверхпроводящими токами и к-рое в свою очередь влияет на них. В рамках этого механизма поле, индуцированное магн. моментами, разрушает сверхпроводимость из-за орбитального эффекта. Под орбитальным эффектом понимают движение электронов куперовской пары в магн. поле по разл. круговым орбитам, различие орбит связано с противоположным направлением импульсов спаренных электронов (см. *Купера эффект*). При достижении магн. полем критич. значения H_{c2} движение электронов по разным орбитам приводит к нарушению их спаривания. Значение разрушающего поля H_{c2} определяется из условия равенства магн. потока через поперечное сечение куперовской пары ($\sim \xi^2$) *кванту магнитного потока* $\Phi_0 = h/2e$ (здесь ξ — сверхпроводящая корреляц. длина). С др. стороны, сверхпроводящие токи вследствие *Мейснера эффекта* экранируют *диполь-дипольное взаимодействие* моментов, к-рое способствует их ферромагн. упорядочению.

Второй механизм взаимного влияния сверхпроводящих электронов и локализов. моментов обусловлен *обменным взаимодействием* электронов, участвующих в формировании этих двух типов упорядочения. В ферромагнетике иост. обменное поле, создаваемое локализов. моментами, действует на спины сверхпроводящих электронов и разрушает куперовское синглетное спаривание электронов из-за *парамагнитного эффекта*. Парамагн. эффект магнитного или обменного поля наз. разрушение сверхпроводимости из-за влияния поля на спины куперовской пары. В случае синглетного спаривания электронов их спины направлены противоположно. Магн. поле H