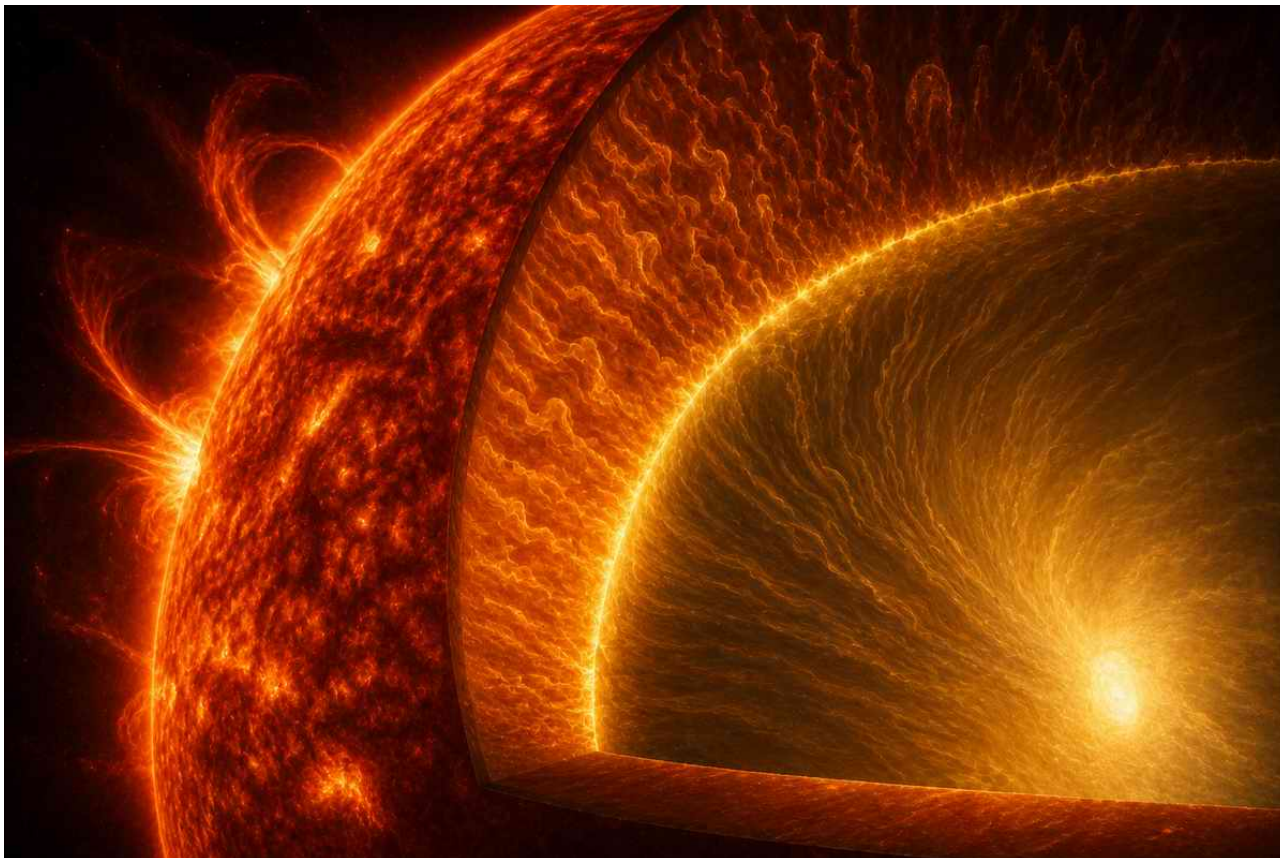


## Ученые приблизились к разгадке одной из главных тайн Солнца: почему его загадочный слой остается невероятно тонким



Дата публикации: 09.07.2026

Несмотря на то что Солнце является ближайшей к Земле звездой и изучается уже многие столетия, его внутреннее устройство до сих пор хранит множество загадок. Одной из самых сложных проблем современной астрофизики остается понимание природы тахоклина — чрезвычайно тонкого слоя, скрытого глубоко под солнечной поверхностью. Именно здесь, как считают ученые, рождается магнитное поле нашей звезды, определяющее солнечную активность и формирующее космическую погоду во всей Солнечной системе.

Новое исследование, опубликованное в журнале *The Astrophysical Journal*, предлагает наиболее убедительное на сегодняшний день объяснение того, почему тахоклин остается столь необычайно тонким, несмотря на мощные потоки раскаленной плазмы, непрерывно движущиеся внутри Солнца. Работа также помогает лучше понять, каким образом звезды постепенно замедляют свое вращение по мере старения.

Исследование выполнено специалистами Калифорнийского университета в Санта-Крузе при поддержке научного центра NASA COFFIES, занимающегося изучением взаимодействия магнитных полей и потоков вещества внутри и вокруг Солнца. Чтобы оценить значение открытия, необходимо разобраться, что представляет собой тахоклин.

Солнце не является твердым телом. Оно состоит из раскаленной плазмы, которая находится в постоянном движении. При этом различные области звезды вращаются с разной скоростью. Внешняя конвективная оболочка вращается неравномерно: экваториальные области совершают оборот быстрее полярных. Глубже располагается радиационная зона, вращающаяся значительно более равномерно.

Между этими двумя областями находится чрезвычайно тонкий переходный слой — тахоклин. Его толщина составляет лишь небольшую долю солнечного радиуса, однако именно здесь происходит резкое изменение характера вращения вещества.

Для астрофизиков тахоклин представляет особый интерес, поскольку считается одним из ключевых элементов так называемого солнечного динамо — механизма, отвечающего за генерацию магнитного поля звезды.

Солнечное магнитное поле определяет практически все проявления активности нашей звезды. Оно вызывает образование солнечных пятен, порождает солнечные вспышки, корональные выбросы массы и потоки высокоэнергетических частиц. Именно эти процессы формируют космическую погоду, которая способна влиять на спутники, радиосвязь, навигационные системы, электросети и даже безопасность астронавтов во время космических полетов.

Поэтому понимание работы тахоклина имеет не только фундаментальное, но и практическое значение. Долгое время ученые сталкивались с серьезной проблемой. Компьютерные модели показывали, что столь тонкий слой должен быстро размываться под действием мощных потоков плазмы и различий во вращении внутренних областей Солнца. Однако наблюдения свидетельствуют об обратном: тахоклин сохраняет удивительно стабильную структуру на протяжении миллиардов лет.

Это противоречие оставалось одной из наиболее известных нерешенных задач солнечной физики. Для поиска ответа исследователи выполнили серию чрезвычайно сложных вычислений, используя один из самых мощных суперкомпьютеров NASA. Общий объем расчетов составил сотни миллионов процессорных часов.

Новые модели значительно точнее воспроизводят реальные процессы, происходящие внутри звезды. В отличие от предыдущих исследований они одновременно учитывают вращение Солнца, движение плазмы, перенос энергии и эволюцию магнитного поля.

Именно такое комплексное моделирование позволило обнаружить неожиданную закономерность. Ранее большинство специалистов считало, что тахоклин является лишь областью, в которой формируется магнитное поле. Новые расчеты показывают, что существует двусторонняя связь.

Оказывается, магнитное поле не только возникает благодаря особенностям тахоклина, но и само активно поддерживает существование этого чрезвычайно тонкого слоя.

По сути, между магнитным полем и тахоклином формируется своеобразная система взаимной стабилизации. Магнитное поле удерживает слой от разрушения, а сам тахоклин продолжает эффективно усиливать и организовывать магнитные поля внутри звезды.

Такое взаимодействие объясняет, почему структура остается стабильной даже при наличии мощных потоков вещества. Авторы называют это самосогласованным механизмом, при котором оба процесса поддерживают друг друга. Не менее важным оказался и второй результат исследования.

Астрономам давно известно, что молодые звезды вращаются значительно быстрее старых. По мере эволюции скорость вращения постепенно уменьшается. Однако механизм передачи этого замедления из внешних слоев к глубинным областям звезды долгое время оставался неясным.

Новая модель показывает, что именно тахоклин может выполнять роль своеобразной «муфты», соединяющей внутренние и внешние области Солнца. Через магнитное поле происходит эффективная передача углового момента между различными слоями звезды. Благодаря этому внутренние области постепенно замедляются вместе с внешними, а не продолжают сохранять первоначально высокую скорость вращения.

Такое объяснение хорошо согласуется с наблюдениями за Солнцем и другими звездами солнечного типа. Полученные результаты имеют значение не только для изучения нашей звезды.

Практически все звезды, похожие на Солнце, обладают магнитной активностью. Именно она определяет уровень звездных вспышек, потоков высокоэнергетических частиц и рентгеновского излучения.

Эти процессы напрямую влияют на окружающие планеты. Если магнитная активность слишком высока, интенсивные потоки заряженных частиц способны постепенно разрушать атмосферы планет и значительно снижать вероятность существования на них жизни. Поэтому понимание механизмов формирования магнитных полей помогает астрономам оценивать потенциальную обитаемость экзопланет.

Сегодня при поиске миров, пригодных для жизни, исследователи учитывают не только размеры планеты и расстояние до звезды, но и характер магнитной активности самой звезды-хозяина.

Более точные модели внутреннего строения звезд позволяют значительно улучшить подобные оценки. Кроме того, исследование имеет большое значение для прогнозирования космической погоды.

Солнечные вспышки и корональные выбросы массы способны вызывать мощные геомагнитные бури на Земле. Во время сильных событий могут возникать перебои в работе спутниковой связи, навигационных систем, энергосетей и космических аппаратов.

Чем лучше ученые понимают процессы, происходящие внутри Солнца, тем точнее становятся модели, предсказывающие периоды высокой солнечной активности. Авторы работы отмечают, что предложенная модель пока требует дальнейшего развития. В будущем они планируют расширить расчеты на более широкий класс звезд различной массы и возраста, чтобы проверить универсальность обнаруженного механизма.

Если результаты подтвердятся, исследование станет важным шагом к созданию единой теории магнитной эволюции звезд. Работа демонстрирует, насколько тесно связаны между собой различные физические процессы внутри звезд. Вращение, движение плазмы, магнитные поля и перенос энергии оказываются не отдельными явлениями, а элементами единой сложной системы, в которой изменение одного параметра влияет на все остальные.

Даже тончайший слой толщиной всего в несколько процентов солнечного радиуса способен определять поведение огромной звезды диаметром почти 1,4 миллиона километров. Именно поэтому разгадка природы тахоклина считается одним из ключевых достижений современной солнечной физики и приближает ученых к более полному пониманию того, как работают звезды, формирующие облик нашей Вселенной.

**Ссылка:** «Сценарий удержания динамо-эффекта для солнечных тахоклинов и

его последствий для замедления включения в модальном радиационном распространении» DOI: [10.3847/1538-4357/ae6705](https://doi.org/10.3847/1538-4357/ae6705).