

Предел Чандрасекара: число, которое определяет судьбу звезд и раскрывает тайну темной энергии



Дата публикации: 19.06.2026

В астрофизике существует немало фундаментальных величин, определяющих устройство Вселенной, однако лишь немногие из них оказали столь глубокое влияние на понимание эволюции звезд и космоса, как предел Чандрасекара. Это критическая масса белого карлика, равная примерно 1,4 массы Солнца. Если масса такого объекта превышает этот порог, он теряет устойчивость и его дальнейшая судьба радикально меняется: звезда либо коллапсирует в нейтронную звезду, либо становится источником одного из самых мощных термоядерных взрывов во Вселенной — сверхновой типа Ia.

Белые карлики представляют собой конечную стадию жизни большинства звезд. После истощения термоядерного топлива внешние оболочки звезды сбрасываются в космос, а ядро сжимается до размеров, сопоставимых с Землей. Несмотря на относительно небольшой размер, масса белого карлика может быть сравнима с массой Солнца, поэтому вещество внутри него находится в чрезвычайно необычном состоянии.

Устойчивость белого карлика обеспечивается не обычным тепловым давлением, а квантовым эффектом, известным как давление вырожденных электронов. Согласно принципу запрета Паули, два электрона не могут одновременно находиться в одном и том же квантовом состоянии. По мере сжатия вещества электроны вынуждены занимать все более высокие энергетические уровни, создавая мощное давление, противодействующее гравитации.

Однако этот механизм имеет предел. При дальнейшем увеличении массы плотность становится настолько высокой, что электроны начинают двигаться со скоростями, близкими к скорости света. В релятивистском режиме рост давления уже не успевает компенсировать усиление гравитационного притяжения. В определенный момент равновесие нарушается, и белый карлик становится неустойчивым. Именно эта граница и получила название предела Чандрасекара.

История открытия этого предела стала одной из самых известных драм в истории науки. В 1930 году молодой индийский физик Субрахманьян Чандрасекар отправился морем из Индии в Англию для продолжения учебы в Кембридже. Во время путешествия он занимался расчетами структуры белых карликов, используя квантовую механику, статистическую физику и специальную теорию относительности Эйнштейна. Результат оказался неожиданным: существовала максимальная масса, выше которой белый карлик не мог оставаться стабильным.

Научное сообщество встретило этот вывод далеко не сразу. Главным оппонентом Чандрасекара стал сэр Артур Эддингтон — один из самых влиятельных астрофизиков своего времени. Эддингтон считал невозможным существование объекта, который неизбежно должен был бы коллапсировать под действием собственной гравитации. По его мнению, природа обязательно должна была найти способ избежать подобной катастрофы.

На заседаниях Королевского астрономического общества Эддингтон публично критиковал расчеты молодого ученого. Его авторитет был настолько велик, что многие исследователи предпочли принять позицию признанного мэтра. В результате идеи Чандрасекара долгое время оставались недооцененными.

Лишь спустя десятилетия развитие астрофизики подтвердило правоту индийского ученого. Открытие нейтронных звезд, развитие теории коллапса и наблюдения белых карликов показали, что предел действительно существует. В 1983 году Субрахманьян Чандрасекар был удостоен Нобелевской премии по физике за исследования структуры и эволюции звезд.

Особенно важную роль предел Чандрасекара играет в механизме возникновения сверхновых типа Ia. Обычно такой взрыв происходит в двойной звездной системе, где белый карлик находится рядом с обычной звездой. Под действием гравитации карлик постепенно перетягивает вещество своего компаньона. Этот процесс называется аккрецией.

По мере накопления вещества масса белого карлика увеличивается и постепенно приближается к критическому значению. Когда достигается предел Чандрасекара, температура и плотность в центральных областях становятся достаточными для запуска неконтролируемых термоядерных реакций углерода и кислорода. В отличие от обычных звезд, где расширение способно частично компенсировать нагрев, в вырожденном веществе такой механизм отсутствует.

В результате возникает гигантская термоядерная вспышка, которая за считанные секунды уничтожает весь белый карлик. В отличие от коллапса массивных звезд, после сверхновой типа Ia обычно не остается ни нейтронной звезды, ни черной дыры. Вся звезда практически полностью разрушается, выбрасывая вещество в межзвездное пространство.

Большинство подобных объектов представляют собой углеродно-кислородные белые карлики, поскольку именно такой состав обеспечивает необходимые условия для термоядерного взрыва. Помимо классического аккреционного сценария существует и другой механизм — слияние двух белых карликов. Если их суммарная масса превышает предел Чандрасекара, система также может завершиться взрывом сверхновой.

Уникальная особенность сверхновых типа Ia заключается в том, что они вспыхивают примерно при одной и той же массе. Благодаря этому их максимальная светимость оказывается весьма близкой от объекта к объекту. Астрономы используют такие взрывы в качестве стандартных свечей — космических маяков, позволяющих измерять расстояния до чрезвычайно удаленных галактик.

Именно эти измерения привели к одному из самых удивительных открытий современной науки. В конце 1990-х годов две независимые группы исследователей изучали далекие сверхновые типа Ia, пытаясь определить скорость расширения Вселенной. Результат оказался неожиданным: оказалось, что расширение не замедляется под действием гравитации, а наоборот ускоряется.

Для объяснения этого явления была введена концепция темной энергии — загадочной формы энергии, которая сегодня считается доминирующим компонентом Вселенной. За это открытие Сол Перлмуттер, Брайан Шмидт и

Адам Рис получили Нобелевскую премию по физике в 2011 году.

Наблюдения, выполненные с помощью космического телескопа Hubble и крупнейших наземных обсерваторий, позволили построить космологическую шкалу расстояний на миллиарды световых лет. В основе этих измерений по-прежнему лежат сверхновые типа Ia, а значит и предел Чандрасекара, определяющий условия их возникновения.

Хотя значение $1,4$ массы Солнца обычно приводится как универсальное, в реальности существуют небольшие уточнения. Быстрое вращение белого карлика, сильные магнитные поля и некоторые особенности внутренней структуры способны немного изменить критическую массу. Тем не менее эти поправки сравнительно невелики, и предел Чандрасекара остается одной из самых надежных и проверенных величин современной астрофизики.

Предел Чандрасекара — это гораздо больше, чем число в учебнике. Он обозначает фундаментальную границу между устойчивостью и катастрофой, между существованием компактной звезды и ее превращением в космический взрыв. Этот порог определяет судьбы звезд, создает сверхновые, служит основой для измерения расстояний во Вселенной и в конечном итоге привел ученых к открытию темной энергии. История этого открытия напоминает, что в природе существуют объективные границы, не зависящие от мнений и авторитетов. Именно на таких границах рождаются новые научные идеи, а переход через критический порог способен изменить не только судьбу звезды, но и наше понимание всего космоса.