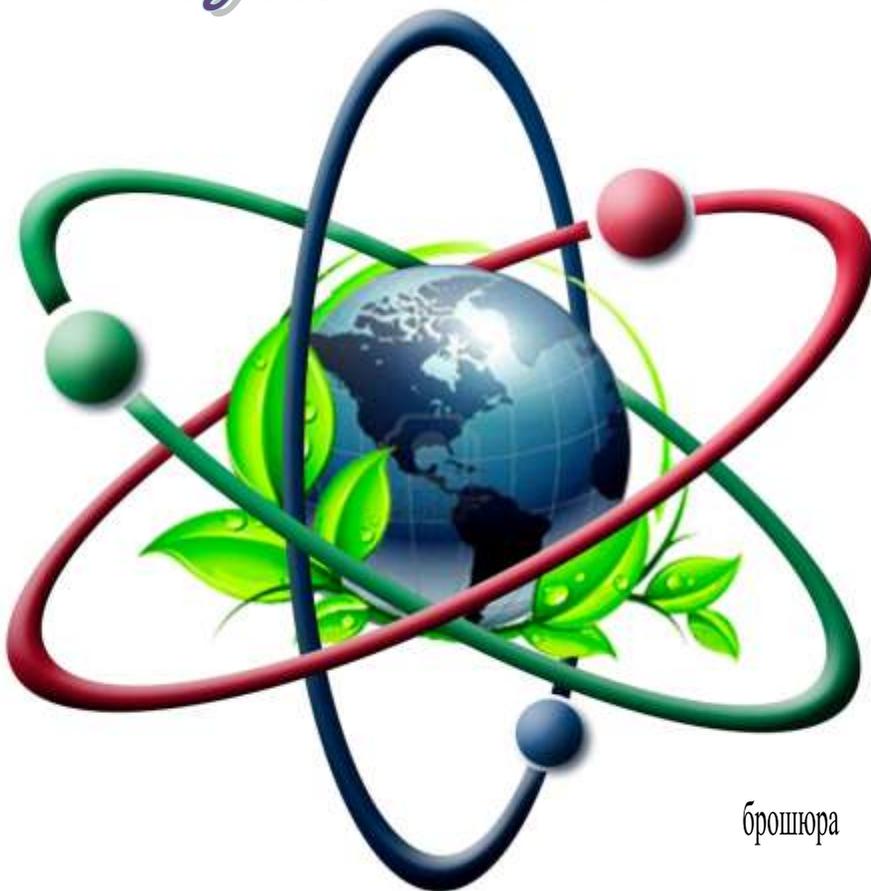


МБУК "Межпоселенческая библиотека"
МО Темрюкский район
Отдел обслуживания

*По страницам журнала
"Наука и жизнь"*



брошюра

Темрюк, 2021 г.

ББК: 91

П41

Составитель: библиограф отдела обслуживания Попсуй Н. Ю.

Ответственный за выпуск: директор «Межпоселенческая библиотека» МО Темрюкский район Асланова Л. Б.

По страницам журнала «Наука и жизнь» [Текст] : брошюра / МБУК «Межпоселенческая библиотека» МО Темрюкский район, отдел обслуживания ; [сост. Н. Ю. Попсуй ; отв. за вып. Л. Б. Асланова]. - Темрюк, 2021. - 16 с.

На страницах «Науки и жизни» вы найдете статьи о недавних научных открытиях и об истории науки, о новых технологиях и фундаментальных основах наук, о людях, посвятивших жизнь науке, и об исторических личностях, о вещах, которые нас окружают, и об удивительных местах на нашей планете. Физика, биология, астрономия, химия, математика, лингвистика, медицина, психология — эти и другие науки на страницах журнала становятся ближе и понятнее.

За более чем вековую историю — первый номер «Науки и жизни» вышел в 1890 году — на страницах журнала собрана целая летопись развития науки и технологий, наших представлений об устройстве мира, о судьбе страны. С 1934 года журнал издается непрерывно, его выпуск не прекращался ни в период Великой Отечественной войны, ни во время экономических кризисов. «Наука и жизнь» это больше, чем просто научно-популярный журнал, это ваш проводник в мир познания.

Павел Амнуэль

Почему светят звёзды?



Выброс вещества солнечной короной.

Иллюстрация: NASA/GSFC/SDO.

Читая о загадочных природных явлениях, часто встречаю фразу: «Наука не в состоянии этого объяснить». Так и вижу учёного, качающего головой и печально разводящего руками. Наука действительно многого не объясняет. Но любители таинственного, удивительного и не объяснимого наукой обычно «забывают» вставлять в свои откровения коротенькое слово «пока». Наука пока не может объяснить, из чего состоит, например, тёмное вещество и что представляет собой загадочная тёмная энергия, разгоняющая нашу Вселенную. Подавляющую же часть того, что современная наука знает сегодня, когда-то — сто, двести, а может, всего десять лет назад — учёные объяснить не могли. Очень долго, например, никто не мог ответить на простой, казалось бы, вопрос: почему светят звёзды? А ведь не будь Солнца — ближайшей к нам звезды, жизнь на Земле была бы невозможна.

К счастью, Солнце и звёзды существуют. Они представляют собой раскалённые плазменные шары самых разных масс, размеров и

цветов. Сейчас это всем известный и никем не подвергаемый сомнению научный факт. Но ещё двести лет назад никто, и великие физики в том числе, не мог сказать, что представляют собой эти точки на ночном небе и почему они такие разные?

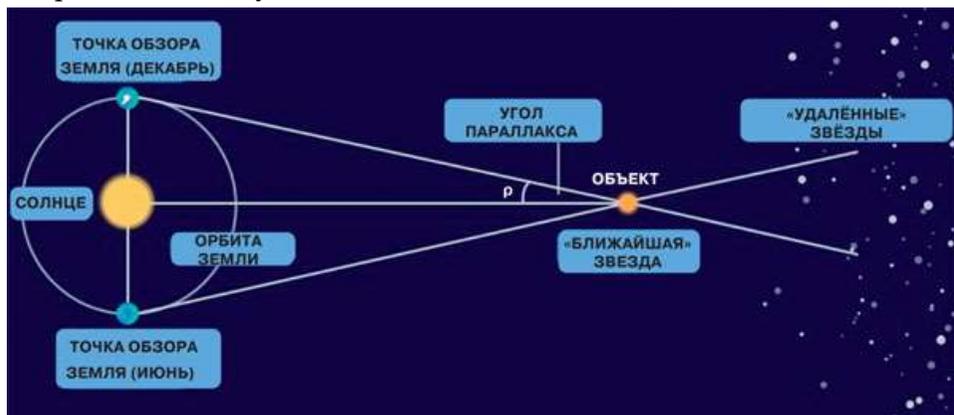


Размеры звёзд зависят от их массы и возраста. На рисунке изображены сравнительные размеры Солнца, красного карлика, в 12 раз менее массивного, чем Солнце, молодого голубого сверхгиганта в 150 раз массивнее Солнца и старой звезды — красного сверхгиганта, масса которого в 5 раз больше солнечной.

Иллюстрация: NASA/ESA/A. Field(STScI).

Почему одни звёзды яркие (Сириус, Вега), а другие едва видны в телескоп? Почему одни жёлтые, другие белые, а есть ещё оранжевые, красные и даже зелёные? И главное: почему звёзды светят? Любой обыватель мог сказать: «Наука бессильна!». Он не добавлял слово «пока», будучи уверен, что звёзды — это все знают! — фонарики, пришпиленные к твёрдому небесному своду, а светят потому, что Бог вложил в них такое свойство!

Понадобились столетия, пока учёные, пользуясь научными методами, не только нашли ответы на эти вопросы, но и задали новые вопросы, а потом ответили и на них. Любой научный ответ приводит к новому вопросу и никогда не становится ответом окончательным. Так развивается наука.



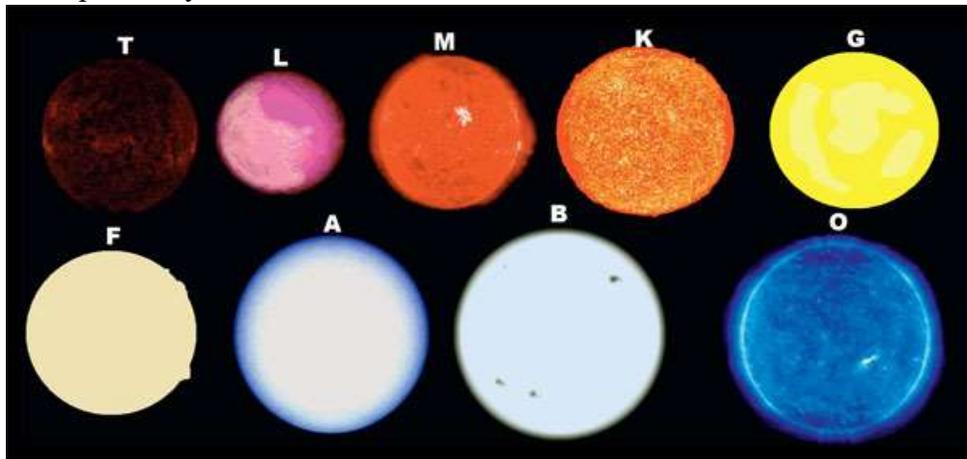
Годичным параллаксом называют угол, на который смещается звезда в течение полугода из-за того, что Земля движется по орбите вокруг Солнца. Зная этот угол и расстояние от Земли до Солнца, можно вычислить расстояние от Земли до ближайших звёзд.

К XIX веку ответ на вопрос, что же такое звёзды и почему они светят, ещё не был найден. Но огромная разница с предшествовавшими временами заключалась в том, что уже сформировалась наука, которая, встретившись с загадкой природы, разгадывала её научными методами. Наука в исследовании звёзд началась, когда звёзды «отлепили» от небесного свода, а сам свод «растворился» и стал необозримо огромным внеземным пространством. Помните у М. В. Ломоносова: «Открылась бездна звезд полна; Звездам числа нет, бездне дна»? Это XVIII век. А ведь веком раньше замечательный астроном Иоганн Кеплер (1571-1630) всё ещё считал небо твердью, а звёзды — светящимися линзочками.

Научный метод требовал, прежде всего, наблюдательных знаний: чтобы ответить на вопрос «почему?», нужно было сначала выяснить, сколько энергии звёзды излучают? Ведь если энергии

требуется немного, то ответ один, а если много, то другой. А чтобы ответить на этот вопрос, нужно было определить расстояние до звёзд.

В 1838 году немецкий математик и астроном Фридрих Бессель (1784-1846) первым достоверно определил расстояние до довольно слабой звёздочки 61 Лебеда, которая описывала за год на небе довольно большую окружность. Бессель предположил, что на самом деле звезда не движется, а наблюдаемая окружность — отражение движения Земли по её орбите вокруг Солнца. Чем ближе звезда, тем больше окружность, которую она описывает на небе. Измерив угловой размер окружности, описываемой 61 Лебеда, и зная диаметр земной орбиты, Бессель рассчитал расстояние до звезды. Оказалось, 61 Лебеда находится от нас на огромном расстоянии — 10,3 светового года (современное значение 11,4 с. г.). Свету нужно более 10 лет, чтобы пройти этот путь! Так в астрономию пришёл ставший широко известным метод определения звёздных расстояний по параллаксу.

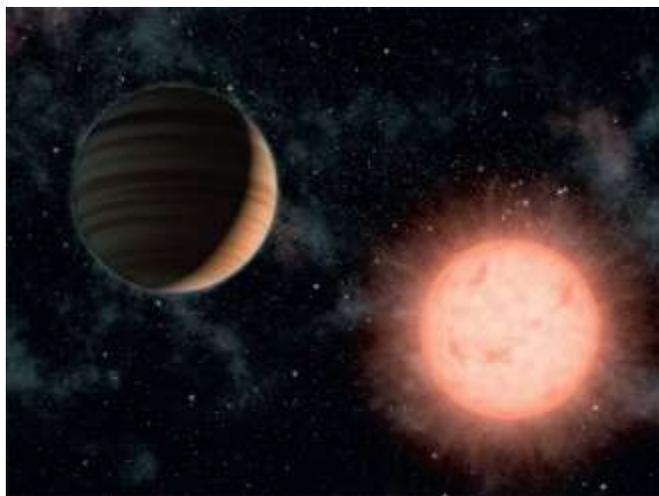


Существуют звёзды самых разных цветов — в зависимости от температуры видимой поверхности (фотосферы). Температура определяет класс звезды: от голубых звёзд класса O до красных звёзд классов M и L. Солнце принадлежит к классу G — оно жёлтое.

Дополнительный класс T введён для коричневых карликов с температурами 550—1300 К.

Иллюстрация: Isna Kasamee/Wikimedia Commons/CC BY 3.0.

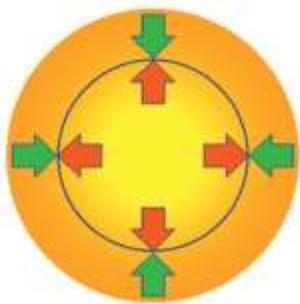
В те же годы британский астроном Томас Хендерсон (1798-1844) методом параллакса определил расстояние до самой яркой звезды на южном небе — Альфы Центавра. Оно оказалось равным 3,25 светового года (современное значение 4,36 с. г.). Значит, звёзды подобны Солнцу — такие же огромные раскалённые тела, а точками они выглядят только потому, что находятся от нас во много раз дальше Солнца.



Красная звезда с планетой в представлении художника. Иллюстрация: NASA/JPL-Caltech.

Затем удалось измерить и сколько энергии излучают Солнце и звёзды. Энергия эта оказалась настолько огромной, что долгое время загадка звёздного излучения представлялась неразрешимой. Естественно, учёные предлагали разные гипотезы. Начали с самой простой идеи: звёзды нагреты до очень высоких температур. От температуры видимой поверхности (её называют фотосферой) зависит цвет звезды. Фотосфера Солнца нагрета до 5800 К (чтобы перевести температуру из Кельвинов в привычные нам градусы Цельсия, надо вычесть 273, таким образом, температура Солнца около 5500°C) и потому оно жёлтое. Есть звёзды более горячие, есть более холодные. Голубые звёзды (например, Вега) имеют температуру фотосферы порядка 10 000 К и даже больше. Фотосфера красных гигантов (например, Бетельгейзе и Антареса), наоборот, нагрета до температуры примерно 3500 К. Фотосфера самых холодных из известных «обычных» звёзд (красные карлики Gliese 105C и Gliese

752В) нагрета примерно до 2600 К. Ещё меньше, до 600 К и ниже, температура коричневых карликов. Правда, их нельзя считать полноценными звёздами, поскольку из-за малой массы их «топка» не способна заработать в полную силу. Поэтому их называют субзвёздными объектами.



Давление раскалённой плазмы внутри звезды (красные стрелки) заставляет её расширяться, а силы тяжести (зелёные стрелки) — сжиматься. Звезда стабильна, когда эти силы уравнивают друг друга.
Рисунок: astro.osu.edu.

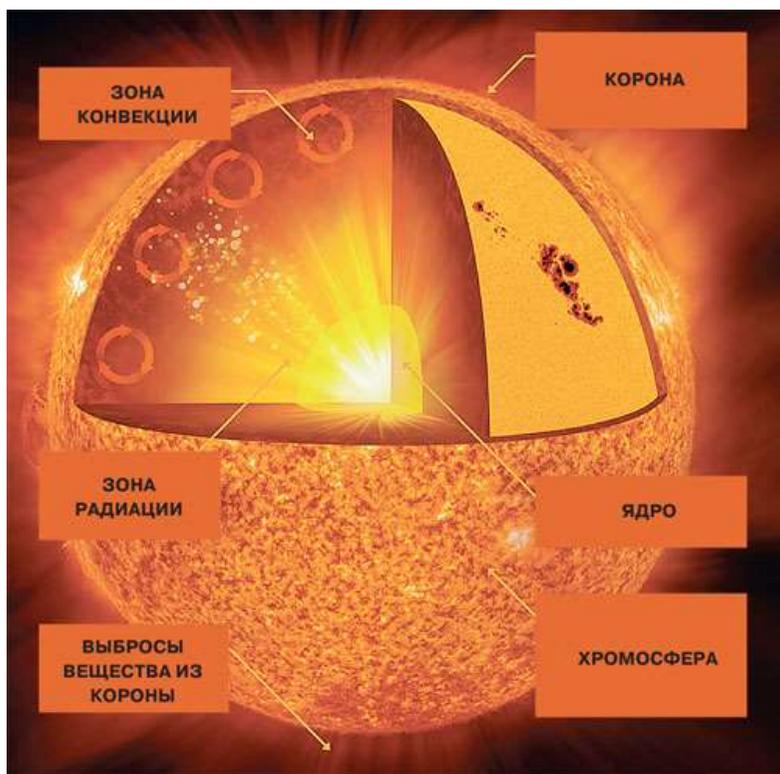
Почему у звёзд такие разные температуры? Потому что изначально все они горячие, но, излучая энергию, одновременно остывают. Когда звезда остывает совсем, она перестаёт быть видимой.

Но, если звезда — раскалённый шар, почему внутреннее давление газа не разрывает её, разбрасывая в пространстве? И на этот вопрос наука ответить смогла: благодаря гравитации. Сила тяжести противостоит давлению раскалённого газа, и обычная звезда находится в равновесии: она имеет такой размер, при котором газовое давление уравнивается силой тяжести.

Излучая энергию, звезда остывает, давление газа уменьшается, и сила тяжести сжимает звезду. Сила взаимного притяжения вещества звезды увеличивается, энергия переходит в тепло, звезда нагревается и продолжает светить. Значит, решили учёные, ответ на загадку найден: звёзды светят потому, что в тепло переходит энергия гравитации. Но этот ответ (как и многие другие — ведь гипотез было много!) оказался неправильным: энергии тяготения не доставало, чтобы звёзды светили достаточно долго.

В XX веке физики открыли, что лёгкие атомы могут соединяться и образовывать атомы более тяжёлых химических

элементов. Эксперименты показали, что если соединяются два атомных ядра, то масса возникшего более тяжёлого ядра — меньше, чем сумма масс первоначальных ядер! Куда девается лишняя масса? Ответ следовал из закона о взаимосвязи массы и энергии $E = mc^2$, выведенного великим Альбертом Эйнштейном (1879-1955). Лишняя масса — это лишняя энергия, энергия излучения. Когда ядра атомов водорода, соединяясь, образуют ядро атома гелия, выделяется огромная энергия. Частично эту энергию уносят возникающие в реакции элементарные частицы, но очень большая её доля выделяется в виде электромагнитного излучения — света.

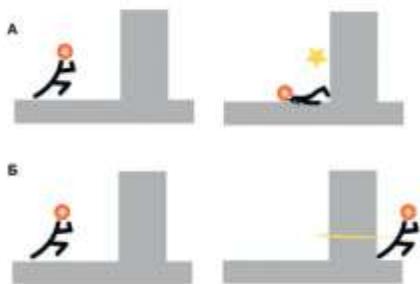


Внутреннее строение звезды солнечного типа. В центре — ядро, температура которого достигает 10—20 млн градусов. Ядро окружено зонами радиации и конвекции. В наружной области — хромосфере — происходят вспышки, а ещё выше располагается разреженная и очень горячая плазма короны. Иллюстрация: NASA/Jenny Mottar.

На основании этого английский астрофизик сэр Артур Эддингтон (1882-1944) предложил идею, которая, казалось, могла ответить наконец, почему излучают звёзды. В глубине звёзд очень высокие температуры и давления. Такие высокие, что начинают идти реакции соединения атомов водорода и превращения их в атомы гелия. Выделяется огромная энергия — она-то и идёт на излучение!

Идея была великолепная, но противники её оспорили. По расчётам, в недрах звёзд температуры и давления оказались слишком малы, чтобы атомы водорода, столкнувшись, смогли взаимодействовать таким образом. Ведь положительно заряженные ядра атома водорода (протоны) должны сильнейшим образом отталкивать друг друга! В принципе, реакция превращения водорода в гелий может объяснить свечение звёзд. Но ядра атомов водорода должны сильно сблизиться, чтобы началась реакция синтеза. А они этого сделать не могут — мешает электрическая сила отталкивания!

Эддингтон эмоционально парировал выпады противников: «Так поищите звезду погорячее!». Иными словами, он предложил им найти условие, при котором в недрах звёзд температура «на самом деле» будет гораздо больше, чем показывают расчёты. Но горячее не было! Согласно расчётам, звёзды, в ядрах которых температура достигала бы требуемых миллиардов градусов, существовать не могут. Значит, и реакции синтеза тоже не годятся для объяснения звёздного излучения?



*Туннельный эффект.
Классическая частица, не обладающая достаточной энергией, ни при каких обстоятельствах не способна преодолеть энергетический барьер (А). Для квантовой частицы существует не равная нулю вероятность оказаться по ту сторону барьера (Б). Иллюстрация: Giuseppe Augello.*

Но учёные не сдались. Как раз тогда — в двадцатых годах XX века — возникла новая физическая дисциплина: квантовая механика. Мир элементарных частиц оказался совсем не таким, каким его представляли, исходя из законов классической физики. Кроме электромагнитных и гравитационных взаимодействий в микромире существуют ещё и ядерные силы — мощнейшие силы притяжения, действующие на очень коротких расстояниях, сравнимых с размерами атомных ядер. Они способны уравновесить электрические силы отталкивания и удержать в ядрах тяжёлых элементов многочисленные протоны, которые иначе никогда не смогли бы собраться в единое целое.

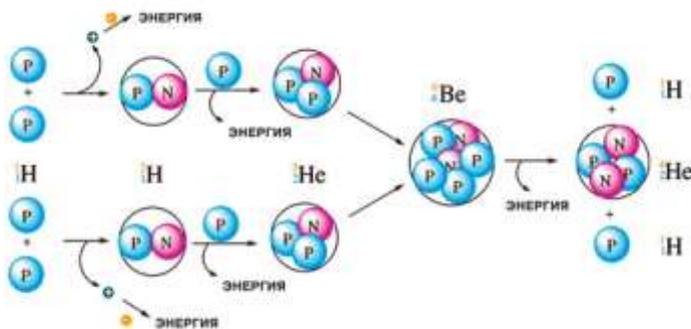
Стало ясно, что именно ядерные силы связывают ядра водорода при образовании ядра атома гелия с выделением огромной энергии. Но эти силы оказались слишком короткодействующими для спасения ситуации, ведь для их появления протонам надо приблизиться друг к другу на расстояние, сравнимое с их собственными размерами. Однако энергетический барьер, создаваемый электрическими силами отталкивания, не позволяет такому произойти! Кажется, сама природа восстала против идеи Эддингтона. Но если наука чего-то не знает, то только «пока». И решение проблемы нашлось.

Да, существует энергетический барьер, который не позволяет двум протонам сблизиться. Но аналогичный барьер мешает протону, находящемуся в ядре атома, покинуть его и вылететь наружу. Между тем, когда Эддингтон предложил идею ядерного синтеза в звёздах, физикам уже было знакомо противоположное явление — ядерный распад, получивший название радиоактивности. Как показывали эксперименты, ядро радия время от времени выбрасывало ядро атома гелия — два протона и два нейтрона, альфа-частицу. Эти протоны покидали ядро радия, несмотря на то, что на их пути стоял тот самый энергетический барьер! Только перескочить через него ядро гелия должно было изнутри наружу.

Классическая физика объяснить преодоление энергетического барьера не смогла, однако с этой проблемой справилась физика

квантовая, принципиально отличавшаяся от классической. Если в классической физике вероятность, что протону удастся перескочить через барьер, была строго равна нулю, то в физике квантовой она оказалась отличной от нуля. Благодаря этому протон иногда мог оказаться по другую сторону барьера, словно пройдя сквозь него, как через туннель. Красивую идею «туннельного эффекта» предложил советский и американский физик Георгий Антонович Гамов (1904-1968).

Вероятность туннельного эффекта, вычисленная Гамовым, была очень мала. Один атом радия испускал альфа-частицу раз в тысячу лет. Но уже в одном грамме радия количество атомов так велико, что каждую секунду можно наблюдать множество «вспышек». Сейчас известно много радиоактивных элементов, распадающихся за разное время. Одни распадаются за доли секунды, другим для этого нужны миллионы лет.



Ядерные реакции синтеза ядра атома гелия из ядер атомов водорода в звезде солнечного типа

Существование туннельного эффекта объяснило радиоактивный распад, но как это явление может быть связано с излучением звёзд? Радиоактивным распадом свечение звёзд не объяснишь, ведь в ядре Солнца нет тяжёлых элементов, способных при распаде выделять огромную энергию. В ядре Солнца преобладает водород, поэтому Эддингтон и говорил о реакциях синтеза, а не распада. Но если альфа-частицы туннелируют сквозь энергетический

барьер изнутри наружу, то возможно туннелирование и в обратную сторону — снаружи внутрь атомов! Именно такая идея легла в основу статьи физиков Роберта Аткинсона и Георга Хоутерманса, опубликованной в 1929 году. «Классическая физика утверждает, — писали они, — что протоны могут соединяться и образовывать ядро атома гелия лишь при температурах в миллиарды градусов. В ядрах звёзд таких температур нет. Но ведь существует туннельный эффект, открытый Гамовым, и, значит, есть не равная нулю вероятность, что и снаружи сквозь энергетическую стену могут проникать протоны, а там уж внутри распоряжаются огромные ядерные силы, которые заставляют проникшие сквозь барьер протоны сцепляться с протонами атомов водорода, — и происходит реакция синтеза».

Итак, мы выяснили, что за барьером соединиться и образовать ядро атома гелия протонам помогают ядерные силы, которые на расстояниях, сравнимых с размерами ядра, становятся гораздо больше сил электромагнитных, так что электрическое отталкивание протонов перестаёт играть какую-либо роль. А температура для синтеза при этом нужна вовсе не в миллиарды градусов — достаточно десятка миллионов, и это как раз такая температура, которая, согласно тем же расчётам, существует в недрах звёзд!

У одиночного протона есть вероятность лишь раз в тысячу лет проникнуть через потенциальный барьер. А если протонов тысячи? Миллионы? Сотни триллионов? Да, не каждый протон «просачивается» сквозь энергетическую стену, но и тех, что «просочились», достаточно для реакции синтеза с выделением нужного количества энергии.

В реальности всё, конечно, сложнее, и получить гелий из водорода не так просто даже после того, как протоны проникнут сквозь энергетический барьер. Но это уже частности — главное, что нужные для реакции протоны добрались до места назначения. Сложность же состоит в том, что в ядре атома гелия есть не только два протона, но и два нейтрона. И потому реакция синтеза далеко не простая. На самом деле происходит несколько реакций. Сначала два протона, соединившись, образуют дейтрон — ядро атома дейтерия.

При этом один протон превращается в нейтрон, а в пространство вылетают позитрон и электронное нейтрино. Потом ещё один проникший сквозь барьер протон соединяется с дейтроном, и образуется ядро гелия-3 (${}^3\text{He}$). И тогда тоже излучается немало энергии. Но и это не конец процесса: два ядра гелия-3 соединяются и образуют, наконец, ядро обычного гелия с двумя протонами и двумя нейтронами (${}^4\text{He}$). Но в двух ядрах гелия-3 четыре протона, поэтому «лишние» протоны вылетают, унося с собой ещё и огромную энергию.

Так наука ответила наконец на вопрос, почему светят звёзды. Если вы услышите или прочитаете, что «наука чего-то объяснить не может», не забывайте добавлять: «пока не может».

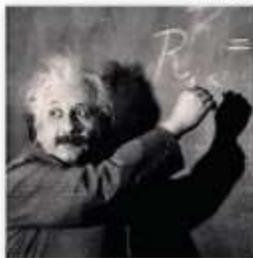
Использованный источник:

Амнуэль, П. Почему светят звезды / П. Амнуэль // Наука и жизнь. - 2020. - №1. - С. 81-87. - Ума палата.



НАУКА И ЖИЗНЬ

П ● Почему Эйнштейн самый великий физик?
2020 ● Озоновая дыра уменьшилась, но почему? ● Академик Юрий Беленков: «Нет неважных для здоровья мелочей» ● «Двигаются и рождаются формы, и мы делаем новые и новые открытия» (Казимир Малевич) ● Год 1890-й. Мир стоял на пороге великих научных открытий...



**МБУК «Межпоселенческая библиотека»
муниципального образования
Темрюкский район
г. Темрюк, ул. Ленина, 88,
тел. 8(86148)5-23-93;
e-mail: knigatem@rambler.ru**