

П.Р. Амнуэль

## ДАЛЕКИЕ МАЯКИ ВСЕЛЕННОЙ

(К 40-летию открытия пульсаров)

### Введение

#### «Звезду убили...»

– Душно, – сказал Сын Неба.

Двое слуг почтительно приблизились и, с трудом подняв плетеное ложе вместе с владыкой, перенесли его в глубь веранды. Здесь было ненамного прохладнее. Над прекрасным городом Кайфыном, столицей Поднебесной империи, повисло дневное марево. Далекие дома терялись в дымке, близкие колебались, будто при землетрясении. Ветра не было. Мыслей тоже.

Голова старого императора Чжао Чжэня склонилась на плечо. Сын Неба спал. Неслышно открылась маленькая дверка, и на веранду, тяжело дыша, красный от усилий, которые ему пришлось затратить, чтобы взобраться на верхний этаж, вошел цзайсян (первый министр – авт.) Инь Чжу. Он повел по сторонам маленькими глазками, увидел спящего императора и скривился в мгновенной усмешке.

– Великий изволит почивать, – сказал он кому-то невидимому в темноте коридора. На свет выступила тщедушная фигурка. Это был Янг Вэй-Тэ – начальник астрономического управления при великой особе императора. Он служил Сыну Неба без малого двадцать лет и хорошо изучил его привычки. Первый министр Инь Чжу лишь недавно возвысился до своего поста – начал он с должности писца.

– Это ты, – сказал старый император Чжао Чжень, отрешаясь то ли от тяжелых государственных дум, то ли от дурманящего сна. – Я ждал тебя вечером, Янг Вэй-Тэ. Ты слишком тороплив.

– Никакое стремление быть полезным владыке не может оказаться торопливым или преждевременным, – почтительно сказал Янг Вэй-Тэ.

Взгляд императора стал острым, будто хотел прочесть в мыслях придворного астронома принесенную им новость, прежде чем тот выразит мысль словами. Старый Чжао Чжень испытывал слабость к небесным светилам. Их предначертаниям он верил порой больше, чем идеям своих министров.

– Говори, – приказал император, жестом прогнав с веранды слуг с опахалами и заодно цзайсяня Инь Чжу, этого выскочку. Министр отступил в темноту коридора без видимого неудовольствия, он уже знал, о чем хочет сообщить начальник астрономического управления. Дверь бесшумно закрылась.

– О великий, – начал Янг Вэй-Тэ, – вот уже четвертый день я наблюдаю небывалое явление на небе, там, где должно находиться созвездие Тьен-Куан, скрытое сейчас от наших взоров светом дня. Сразу после восхода солнца я замечаю на небе звезду-гостью. Она наливается соком и набухает, подобно созревшему плоду. Цвет ее желтый, но иногда, если смотреть на нее очень долго, кажется красноватым.

– Звезда-гостья видна днем? – недоверчиво спросил император. Он знал, что астроном не лжет, он уже понял, что это – *знамение*, которого он ждал с начала своего царствования. Все в нем напряглось в ожидании слов, которые сейчас должен произнести Янг Вэй-Тэ.

– Звезда-гостья видна днем, – эхом отозвался астроном. – Я проверил гороскоп по своим таблицам. Звезда-гостья не затмит Альдебарана. Цвет ее предвещает покой стране и плодородие почвам. Расположение ее благоприятствует твоему царствованию, которое будет столь же ярким.

– Почему звезда-гостья не появилась, когда я был молод, только взшел на престол и впереди была вся жизнь? – требовательно сказал император.

Астроном не мог дать ответа. Чжао Чжень и не ждал его, он просто думал вслух: "Почему она вспыхнула теперь, когда я стар и более не способен на великие дела?"

Император впервые произнес при постороннем такие кощунственные слова, звучавшие ранее лишь в его мозгу, да и то в периоды величайшего недовольства собой. Поистине жара размягчает душу.

– Я хочу видеть, – сказал император, поднимаясь с ложа.

Ноги затекли, и Сын Неба с трудом доплелся до бортика веранды.

– Пусть солнце останется от тебя справа, – почтительно говорил Янг Вэй-Тэ. – Отступи в тень, о великий. Так, хорошо. Видишь?

Да, император видел. Звезда-гостья была подобна огромной рисине, лежавшей на ослепительно голубом бархате. Наверняка она стала даже ярче, чем говорил Янг Вэй-Тэ. Звезда его правления. Хорошо. Как она прекрасна!

– Было ли когда-нибудь явление столь же значительное? – спросил он, хотя и сам прекрасно знал древние летописи.

Янг Вэй-Тэ понял, чего ждет от него владыка, и сказал, склонившись:

– Никогда. Сорок шесть лет назад подобная звезда-гостья была видна лишь ночью.

На веранде наступило долгое молчание.

– Почему? – произнес наконец император. – Почему это великое знамение не длится вечно? Если оно предвещает благополучие моему царствованию, почему звезда-гостья уходит, не просияв на небе и года? Почему она не живет, пока жив я?

– Так было всегда, – сказал Янг Вэй-Тэ, не догадываясь, о чем размышлял Сын Неба.

– Так было всегда, – повторил император с неожиданным презрением. – Всегда были только боги, Янг Вэй-Тэ. Даже Поднебесная была не всегда.

Чжао Чжень склонился к астроному и зашептал ему на ухо:

– Тебе никогда не казалось, что на небе зло так же борется с добром, так же кипят страсти, как на земле? Тьма гонится за светом и пожирает его, но свет снова берет верх, и так всегда. Яркое солнце затмевает звезды, потому что они слабые, и нечего им стоять на пути у сильного. Но солнце заходит, и звезды воскресают. И так всегда. А иногда звезда падает, умирает, и в летние ночи это случается особенно часто, будто в небе бушует эпидемия. Но звезд не становится меньше. Почему, мой астроном? Может быть, вместо тех, что упали, рождаются другие? Может быть, именно они, рожденные звезды, заставляют другие звезды падать? Может, они...

Император умолк... и вдруг резким толчком ноги отодвинул от себя астронома. Тот не удержал равновесия и растянулся на полу. Император трескуче рассмеялся, но смех его стих, когда в проеме между колоннами вновь предстала звезда-гостья, желтая и мерцающая.

"Только бы не приказал выпороть", – думал Янг Вэй-Тэ, с трудом поднимаясь на колени и совершенно не понимая, отчего его предсказание произвело на Сына Неба такое странное впечатление. Порка была для астронома делом привычным, как и для всех чиновников, включая цзайсяна, но он становился стар и чувствовал, что не выдержит больше десятка ударов.

– И вдруг рождается на небе яркая звезда, ярче всех, предвещающая мир земле и радость царствующему дому, – сказал император, будто продолжая начатую мысль. – Она хочет жить столько же, сколько живут другие звезды, а звезды живут долго, много тысяч лун светят они, одни и те же. Но и на небе есть завистники, есть негодяи, есть... убийцы. Понимаешь ли ты, астроном? Если пламя вспыхивает слишком ярко, его нужно погасить. Я и сам так поступаю – мне не нужны люди, которые были бы умнее и лучше меня.

Речь императора прервалась опять. Старый владыка будто сейчас заметил, что открывает свои мысли человеку, которому знать о них не положено.

"Звезда-гостья, – думал Чжао Чжень, – светила бы всегда, давая моему царствованию спокойствие и мир, но злые силы не выносят ее лучистого сияния – она ведь может затмить и самое солнце! И злые силы убивают ее прекрасный желтоватый свет. Наверное, так все и происходит. Да. Злое дело свершится скоро на небе, и звезда-гостья исчезнет, потому что

будет убита. Моему славному Янг Вэй-Тэ такая мысль не придет в голову – он не знает ничего, кроме своих таблиц и счислений. И гороскопы у него всегда бодрые. И взятки он берет. Выпороть его, что ли? Да ладно, стар он уже. Как и я. Но я мудрее, я знаю, что звезда-гостья не проживет долго, потому что убийцы уже готовят оружие. Убийцы ждут своего часа. Убийцы занесли меч. И ничто не поможет. Совсем как на земле. Совсем как на грешной земле"...

Шел июль 1054 года по христианскому летосчислению. Звезда-гостья угасла почти полтора года спустя. Старый император Чжао Чжень следил за ее медленным угасанием с затаенной грустью, потому что только он знал: звезду убили.

Своего придворного астронома он приказал выпороть плетью у ворот дворца в тот день, когда звезда-гостья погасла совсем.

\* \* \*

Что произошло в небе летом 1054 года? Звезда вспыхнула, была видна даже днем, но исчезла. В то время человеческий ум был бессилен перед подобными тайнами. Летописцы лишь фиксировали события, не понимая их, и объясняли природные явления божественным провидением. Неизвестно, конечно, о чем думал Чжао Чжень, один из императоров династии Сун, правивший Поднебесной империей до 1066 года, когда начальник астрономического управления Янг Вэй-Тэ доложил ему о явлении звезды-гостьи. Лишь много веков спустя люди узнали о том, что произошло в летнем небе 1054 года.

И тогда начался научный поиск со своими законами, своими прямыми и боковыми ходами мысли. Началось научное расследование события, случившегося более девятисот лет назад.

Любой научный поиск имеет черты детектива. Так же существует загадка. Так же косвенные улики, следы и прямые доказательства помогают найти истину. Так же опыт и интуиция выводят на правильный путь.

В истории, о которой пойдет речь, события развивались по канонам детективного жанра. И только в наши дни усилиями многих ученых и научных коллективов расследование о гибели звезды приблизилось к завершению. А мы попробуем разобраться во всем с самого начала. Расскажем, как шло научное расследование. Пройдем вслед за астрофизиками трудной дорогой поиска истины.

Тайна гибели звезд была раскрыта учеными, работавшими в разное время в разных странах, и методы исследования были самыми различными. Мы попробуем следить за ходом поиска с двух позиций – наших современников и астрофизиков прошлого, далекого и близкого.

Мы будем не только расследовать конкретное "Дело о гибели звезды", но попытаемся разобраться в логике научного поиска и посвятим этому не меньше времени, чем самому расследованию. Ведь, в отличие от юридического следствия, научный поиск заключается не только в разгадывании какой-то конкретной загадки. Истина, открывающаяся взгляду после решения научной проблемы, подобна не рисунку в рамке, но прекрасному пейзажу, который раскрывается нам, когда мы поднимаемся на горную вершину.

## **Глава первая Пробовать и ошибаться**

*Наша задача – ошибаться как можно быстрее.  
Дж. Уилер*

### **Свидетели вспышек**

Явление звезды-гостьи в 1054 году было далеко не единственным явлением подобного рода. Одно из древнейших свидетельств относится к 185 году новой эры:

«В период Чжун-Цин, во второй год, в десятую луну, в день Квей-Хао появилась необыкновенная звезда посередине Нан-Мана... Она была величиной с бамбуковую циновку и последовательно показывала пять цветов. Постепенно она уменьшила свой блеск к шестой луне следующего года, когда она исчезла».

Нан-Ман – это созвездие Центавра. Нужно пояснить и сравнение с бамбуковой циновкой. Конечно, вовсе не о геометрических размерах звезды идет речь. В такой образной форме говорилось о яркости звезды. Уже в XX веке путем анализа многих летописей удалось докопаться до смысла фразы. Американский астроном К. Лундмарк считал, например, что яркость этой звезды-госты соответствовала минус шестой звездной величине, то есть – в шесть раз ярче Венеры! Не удивительно, что звезда могла быть видна и в дневное время.

А вот переводы подлинных текстов китайских летописей, где говорится о явлении звезды-госты в 1054 году:

«В двадцать второй день седьмой луны первого года периода Ши-Хо Янг Вэй-Тэ сказал: «Простираю свою персону ниц: я наблюдал явление звезды-госты. Она была слегка радужного цвета. Согласно распоряжению императора я почтительно сделал предсказание, сводящееся к следующему: звезда-госты не нарушит Альдебарана; это указывает на то, что страна... обретет великую силу. Я прошу, чтобы это предсказание было передано в управление историографии».

«Первоначально эта звезда стала видимой в пятую луну первого года периода Ши-Хо на восточном небе в созвездии Тьен-Куан. Она была видна днем, подобно Венере, направляя лучи в разные стороны. Цвет ее был красно-белый. В общем, она была видна днем двадцать три дня».

В день Син-Вэй, в третью луну первого года периода Чья-Ю начальник астрономического управления докладывал, что появившаяся утром на восточном небе в пятую луну первого года периода Ши-Хо звезда-госты, оставаясь все время в Тьен-Куане, только теперь перестала быть видимой».

Так написано в китайских хрониках Сун-Ши и Сун Хай-Яо династии Сун. В XIII веке в Китае вышла энциклопедия Ма Туан-Лина. В ней, как в копилке, были собраны все наблюдения китайских астрономов от II века до нашей эры вплоть до 1203 года. В 1846 году эту энциклопедию перевел на французский язык астроном Био – он собирал в ту пору все сведения о звездах-гостях, но оказалось, что в хрониках есть упоминания и о кометах, которые ведь тоже наблюдались лишь короткое время. Отличить звезду-гостью от кометы подчас довольно трудно. Астрономы средневековья, для которых каждое новое явление на небе было божественным предзнаменованием, не всегда улавливали разницу. Они, конечно, видели, что некоторые звезды-госты двигаются, а некоторые – нет. Чаще всего это в хрониках отмечалось, но не всегда. Однако в 1054 году на небе была видна не комета: «Звезда госты все время находилась в созвездии Тьен-Куан». Это созвездие Тельца. Звезда оставалась на одном и том же месте полтора года – это не могла быть комета. Существуют и многочисленные современные доказательства (о них мы поговорим позже) того, что звезда-госты 1054 года – одна из самых ярких за всю историю человечества.

Есть указание на эту вспышку и в японских хрониках «Мэй Гэтсуки» и «Ишидао Йоки». Но японцы, видимо, что-то напутали с датами. Они уверяют, что наблюдали звезду-гостью с 20 по 30 мая 1054 года (если перевести даты с японского календаря). Однако в это время созвездие Тельца находится слишком уж близко к Солнцу. Тут, видимо, ошибка.

А вот в Европе и на Ближнем Востоке никто, судя по всему, эту звезду-гостью не наблюдал. О ней нет упоминаний ни в европейских, ни в арабских хрониках, ни в летописях Древней Руси. История странная. В 1054 году в Европе происходили немаловажные события. Церковь разделилась на католическую и православную. В Киеве умер князь Ярослав Мудрый, и Русь оказалась раздробленной на пять частей. Вильгельм-завоеватель готовил войско для похода в Британию. В каждом случае явление звезды-госты могло быть истолковано как предзнаменование. Это обязательно отразилось бы в хрониках и летописях. Ведь описана же в хрониках вспышка звезды-госты в 1006 году! Вот что писал Ибн Аль-

Тир: «В этом году в новолуние, в месяц Шабан появилась большая звезда, подобная Венере... На земле ее лучи были подобны Луне, и она оставалась на небе до середины месяца Дсул-Каада, после чего исчезла».

Впрочем, это уже загадка для историков, а не для астрономов. Для нашего расследования важно одно: время от времени совершенно неожиданно появлялись на небе звезды-гости, которые светили несколько месяцев, а то и год-два. Медленно угасали и исчезали. Император Чжао Чжень в нашем рассказе назвал это убийством, но популярнее было другое мнение – звезда родилась. Поэтому в средние века звезды-гости получили название «новых звезд». Название не очень удачное, лучше все же говорить «звезда-гостья». Однако термин «новая звезда» прижился в астрономии, пользуются им и сейчас. Вспышки ярких новых звезд наблюдали и после 1054 года. В 1572 и 1604 годах звезды-гости были видны в Европе. В 1572 году наблюдения проводил сам великий Тихо де Браге. Новая так и была названа – звезда Тихо. Спустя тридцать два года яркую вспышку в созвездии Змееносца наблюдал Иоганн Кеплер.

А потом наступило затишье. Новые звезды перестали вспыхивать. Будто назло. Когда астрономия была в зачаточном состоянии, вспыхивали ярчайшие новые, их видели даже днем, а после изобретения телескопа звезды-гости исчезли. За два с половиной века вспыхнули всего две звезды, да и то одна из них даже в максимуме яркости была едва заметна невооруженным глазом. Тайна гибели звезды, если звезда погибала, или ее рождения, если во вспышке звезда рождалась, оставалась запертой за семью замками.

### Новые обычные и необычные

В XIX веке случился очередной сюрприз, уже к радости астрономов. С 1843 по 1942 годы – за век – новые вспыхивали восемь раз. Яркая новая звезда появилась в 1866 году в созвездии Северной Короны, она была лишь вдвое слабее Веги. Звезда разгорелась всего за несколько часов!

Три дня спустя после того, как новая Северной Короны достигла максимальной яркости, английский спектроскопист У. Хеггинс впервые исследовал спектр звездной вспышки. Фотографировать спектры Хеггинс не мог – астрофотография родилась четвертью века позднее. Но на экране спектроскопа в темной камере он видел линии химических элементов, которые излучаются там. А в 1891 году новая звезда была впервые сфотографирована – эта новая вспыхнула в созвездии Возничего.

Вот тогда-то – впервые за тысячу лет – астрономы доказали: при вспышке новой звезда не рождается и не умирает. Новую Возничего удалось сфотографировать в нескольких фазах: сначала сразу после максимума, а потом через каждые две-три недели. Яркость уменьшалась, но звезда так и не погасла совсем – несколько недель спустя после вспышки блеск звезды перестал меняться, и ученые поняли: это стационарное состояние, звезда не исчезнет, не умрет, она будет жить.

Оказалось, что при вспышке звезда не рождается, а всего лишь сильно увеличивает яркость. И после вспышки звезда не умирает, а всего лишь слабеет. Блеск возрастает в десятки тысяч раз – на 10-12 звездных величин (разница в одну звездную величину соответствует изменению блеска звезды в 2,52 раза). И во столько же раз уменьшается после вспышки. На фотографиях, сделанных после вспышки и до нее, – нашлись и такие в стеклянных библиотеках обсерваторий – видна одна и та же слабенькая звездочка.

Что же получается? В летнем небе 1054 года трагедии вроде бы не произошло, звезда не погибла? Что-то с ней, конечно, приключилось, пусть не трагедия, но драма. К тому же, в описываемой истории можно заметить даже невооруженным глазом одно очевидное противоречие.

Звезды-гости 1006, 1054 годов, звезды Тихо и Кеплера были очень яркими новыми. В минимуме они должны были стать слабее на 10-12 звездных величин, то есть выглядеть звездочками примерно пятой-шестой величины. Такие звезды и без телескопа можно

увидеть, а в телескоп – пусть и небольшой – подавно. Конечно, чтобы увидеть, нужно знать, где искать, а по старым китайским хроникам точных координат не определишь. Но ведь Тихо Браге был отличным наблюдателем. Он вычислил координаты звезды-гостьи 1572 года с точностью до половины дуговой минуты. Звезду Тихо обязательно должны были наблюдать и после вспышки. Тот же Тихо Браге ее увидел бы, если бы звезда ослабела на те самые 10-12 величин. Но он ее не увидел. Ни он, и никто другой. В кружочке диаметром в одну дуговую минуту на фотографиях, сделанных (впоследствии, конечно) даже с хорошими телескопами, не видно *никаких звезд*.

Вот противоречие. Новая в Северной Короне была слабее Веги в максимуме, но ее удалось обнаружить после вспышки. А звезда Тихо была ярче Веги в сотни раз, но после вспышки исчезла, словно призрак...

Как объяснить это противоречие? Проще всего – предположить, что не все новые одинаковы. Одни увеличивают блеск в сотни раз, другие – в сотни тысяч. Одни вспышки мощнее, другие – слабее. Простая и естественная гипотеза.

Но почему именно самые яркие звезды-гостьи имели и самые большие амплитуды вспышек?

И если действительно новые звезды бывают такими разными, то, может, странности не ограничиваются только амплитудой вспышек? Может, случались вспышки и других странных новых звезд? Может, класс новых значительно шире, чем думали астрономы в то время, когда возникла астрономическая фотография, а с ней и противоречие, о котором сказано выше?

### **Вспышка в туманности Андромеды**

В 1885 году астроном Гартвиг, работавший в обсерватории города Дерпта (Тарту), наблюдал вспышку новой звезды в спиральной туманности М 31, расположенной в созвездии Андромеды. Новая оказалась не очень яркой, без телескопов на нее никто и внимания не обратил бы. В максимуме блеска она едва достигала шестой звездной величины и была на пределе видимости невооруженным глазом. Новую звезду назвали S Андромеды. Наблюдали ее также Гюлли во Франции, Вольф в Германии, баронесса Подманицки в Венгрии, но никто, кроме Гартвига, не понял, какое значение для астрономии имела именно эта вспышка.

А действительно, почему именно эта – довольно слабая? Дело в том, что на этот раз звезда вспыхнула в туманности. Еще в 1755 году Иммануил Кант предложил так называемую небулярную гипотезу (от слова nebula – туманность) происхождения звезд и планетных систем. В 1796 году аналогичную идею предложил Лаплас, и вплоть до начала XX века небулярная гипотеза была единственной, которую признавали все астрономы. Кант и Лаплас предположили, что звезда образуется вместе с планетной системой из плотного вращающегося газового облака – туманности. Туманность не однородна, в ней возникают уплотнения газа, эти сгущения растут и спустя миллионы лет превращаются в звезду (самый большой сгусток) и планеты (сгустки поменьше).

Вернемся к S Андромеды. Новая звезда вспыхнула в туманности – разве нужно еще какое-нибудь доказательство того, что звезды рождаются именно так, как писали Кант и Лаплас? Для астрономов конца XIX века вспышка S Андромеды была веским аргументом в пользу небулярной гипотезы. Аргументом, но все же не доказательством. Строго говоря, нужно ведь было еще доказать, что М 31 – действительно газовая туманность, а не скопление звезд: ведь до Галилея и Млечный Путь выглядел туманной полосой, а вовсе не звездным океаном.

Казалось бы, какая разница для нашего расследования – является туманность Андромеды звездным скоплением или газовой туманностью? Нас ведь интересует вспышка звезды – мы хотим знать, рождение это или смерть. Однако давайте рассуждать иначе. Если туманность

Андромеды – газовая, то расстояние до нее невелико, с большого расстояния мы газовую туманность не разглядели бы. И тогда S Андромеды ничем от обычных новых не отличается.

Но если M 31 не туманность, а очень далекое звездное скопление, то S Андромеды становится звездой из ряда вон выходящей, сродни звезде Кеплера или даже еще более яркой звезде-госте 1054 года. Вот и получается, что проблему S Андромеды невозможно решить, не ответив сначала на вопрос: что представляет собой объект, занесенный в каталог Мессье под номером 31?

Именно так и стояла проблема в начале XX века. Это была грандиозная мировоззренческая проблема. Если M 31 – не газовая туманность, а далекая звездная система, то получается, что Млечный Путь, наша Галактика не единственный такой объект во Вселенной. Существуют и другие галактики, другие звездные острова, состоящие из десятков миллиардов звезд...

### Первые гипотезы

История исследования физической природы туманности Андромеды была полна драматизма, ошибок и неожиданных прозрений. Остановимся на этом более подробно.

В конце XIX века общее мнение (точнее, общее заблуждение) было таково: все многочисленные спиральные туманности, наблюдаемые на небе, в том числе и туманность под номером 31 из каталога Шарля Мессье (M 31), расположенная в созвездии Андромеды, – это обычные газовые туманности, и находятся они, естественно, в нашей Галактике не очень далеко от Солнца.

Вот, к примеру, что писала американский астроном миссис Кларк в 1890 году: «Вопрос о том, являются ли туманности внешними галактиками, едва ли нуждается в дальнейшем обсуждении. На него дан ответ самим прогрессом исследований. Можно с уверенностью сказать, что ни один компетентный ученый, располагающий всеми имеющимися доказательствами, не станет придерживаться мнения, что хотя бы одна туманность является звездной системой, сравнимой по размерам с Млечным Путем. Практически установлено, что все объекты, наблюдаемые на небе (как звезды, так и туманности), принадлежат к одному огромному агрегату...»

Заметьте, какие слова были написаны в поддержку идеи, провалившейся четверть века спустя: «едва ли нуждается в обсуждении», «можно с уверенностью сказать», «практически установлено». Попробуйте возражать, если вам говорят, что это «практически установлено»! Такая уверенность в неправильных представлениях встречалась и раньше, и потом, встречается и в наши дни, и не только в астрономии, но и в других науках, однако не слишком ли часто астрономы бывают уверены в том, в чем уверенными быть нельзя?

Астрономические явления зачастую лишь видимость, поверхность чего-то, что сможет быть открыто и познано, когда вступят в строй новые, более совершенные телескопы, появятся новые методы исследований. Приведу еще один похожий пример. На самом рубеже XIX и XX веков американский астроном Дж. Шейнер получил спектр все той же туманности Андромеды, оказавшийся очень похожим на спектр Солнца. Шейнер сделал из этого совершенно правильный вывод: M 31 – колоссальное звездное скопление, подобное Млечному Пути, состоящее из таких же звезд, как Солнце. Идея ясная – казалось бы, против нее нечего возразить. Тем более что год спустя голландский ученый К. Истон предложил гипотезу о том, что и Млечный Путь – спиральная галактика, центр которой находится далеко от Солнца. Солнце – всего лишь рядовая звезда этой звездной карусели, расположенная в одном из неблизких к центру спиральных рукавов. Вот две правильные идеи, основанные на истолковании наблюдаемых явлений.

Но... Несколько лет спустя американский астроном В. Слайфер исследовал спектры туманностей, расположенных в звездном скоплении Плеяды. Скопление Плеяды невелико и находится, без сомнения, в нашей Галактике. А туманности связаны со скоплением и, значит, никак не могут быть «островными Вселенными». Так вот, В. Слайфер показал, что

спектры этих туманностей тоже похожи на спектр Солнца! Легко представить, что именно сказал В. Слайфер по поводу своего открытия. Прочитую журнал «Популярная астрономия» (1913 год).

«Это наблюдение туманности в Плеядах навело меня на мысль, что туманность Андромеды и подобные спиральные туманности могут состоять из центральной звезды, окруженной и затемненной клочковатой и разреженной материей, которая сияет отраженным светом центрального солнца. Эта концепция согласуется со спектрограммами туманности Андромеды, а также оценкой ее параллакса, сделанной Болиным».

Вот так из двух правильных наблюдений были сделаны совершенно противоположные заключения о природе спиралей. И только из-за того, что двум *разным*, но одинаково выглядящим явлениям была приписана *одна и та же* причина. А измерение параллакса туманности Андромеды, о котором писал Слайфер, было попросту ошибочно – ни о каком параллаксе здесь говорить не приходится, слишком уж далеко туманность Андромеды!

Часто решение фундаментальных, мировоззренческих проблем зависит от какой-то частной задачи, которая на определенном этапе развития науки становится краеугольным камнем. Кеплер сконструировал свои законы из-за того, что в расчетах движения планеты Марс оказалась ошибка в восемь угловых минут. Коперник передвинул Солнце в центр мироздания, потому что за тысячу лет накопились ошибки в предвычислениях расположений планет. А решение фундаментальной проблемы единственности нашей Галактики во Вселенной неожиданно затормозилось, поскольку не было известно расстояние до туманности Андромеды...

Может показаться, что сам факт вспышки новой звезды в спирали М 31 дает возможность оценить расстояние до этого объекта. Если считать, конечно, что обычные новые звезды и S Андромеды – явления одного типа. Звезда S Андромеды была на три звездные величины, то есть в 12 раз слабее новой Персея, вспыхнувшей в 1901 году. Допустим, что в максимуме блеска обе звезды были на самом деле одинаково яркими. Тогда получается, что туманность Андромеды должна быть удалена от Солнца на расстояние в 3,5 раза большее, чем новая Персея. Именно так и рассуждал в 1911 году американский физик Ф. Бери, получивший из своих рассуждений, что расстояние до М 31 всего пять тысяч световых лет или около 1600 парсек. Это означает, что туманность Андромеды – близкий объект, расположенный внутри нашей Галактики.

Но ведь на самом деле нужно было рассуждать *наоборот*! Сначала определить расстояние до М 31 каким-нибудь независимым способом, после этого вычислить светимость S Андромеды и лишь тогда сравнивать S Андромеды с другими новыми звездами. Бери поставил проблему с ног на голову!

Нужны были дополнительные наблюдения, и они появились в 1917 году, когда Дж. Ричи на обсерватории Маунт Вильсон совершенно случайно открыл новую звезду в другой спиральной туманности NGC 6946. Новая была очень слабенькой, в максимуме блеска достигала всего 15 звездной величины. Ее и видно-то было только в крупный телескоп. Но главная характеристика – ход изменения блеска – была подобна изменению блеска обычных новых звезд. Раньше никому и в голову не приходило, что новые звезды могут быть такими слабыми. Их ведь трудно заметить с первого взгляда, просматривая фотографии туманностей. Не исключено, что были и другие аналогичные вспышки, оставшиеся незамеченными. Ричи начал изучать прежние фотографии спиральных туманностей, особенно туманности Андромеды, и действительно нашел две новые звезды, на которые раньше не обратил внимания. Две очень слабые новые звезды, не шедшие ни в какое сравнение с S Андромеды. Поистине, S Андромеды оказалась вырожденным, монстром в мире звезд.

Случай с Ричи очень типичен. Исследователь случайно обратил внимание на слабенькую вспышку в NGC 6946. Но эту случайность скорее можно назвать шорами целеустремленности. Исследователь видит прежде всего то, что хочет видеть. Он ищет новые звезды и знает, что вспышка бывает яркой. Если кто-то скажет ему, что в данном



конкретном случае новая может быть слабее в тысячи раз, он отмахнется. Хотя потом, когда исследователь *случайно* обратит внимание на такую очень слабую новую, объяснение возникнет легко. Ведь ясно: чем дальше от нас вспыхивает новая, тем она слабее. И если она *настолько* слаба, то какие же бездны пространства нас разделяют!..

Если бы Ричи с самого начала искал *все возможные* вспышки, а не только самые яркие, он нашел бы новые звезды в туманности Андромеды на несколько лет раньше.

После сообщения Ричи астрономы стали просматривать фотопластинки в стеклянных библиотеках обсерваторий и нашли слабые вспышки новых звезд не только в туманности М 31. Через два месяца было известно уже об одиннадцати вспышках новых звезд в семи спиральных туманностях. Из них четыре – в туманности Андромеды. Не считая знаменитой и на что не похожей S Андромеды. Однако даже после этого *случая* никто не обратил внимания на разительное отличие вспышек новых от S Андромеды. Пользуясь языком детектива, можно сказать, что показания свидетелей по-прежнему оставались противоречивыми. Все наблюдали одно и то же, но видели разное!

Загадка физической природы М 31 была разгадана лишь в 1924 году, когда Э. Хаббл и Дж. Ричи получили прекрасные фотографии туманности Андромеды, на которых было видно, что ее спирали состоят из россыпи звезд. Более того, Хаббл даже обнаружил среди этих звезд обычные переменные звезды цефеиды, каких много в нашей Галактике. Яркость цефеид строго связана с периодом пульсаций их излучения. Цефеиды даже называют «звездными маяками», потому что расстояния до этих звезд определяются точнее всего. Ведь период пульсаций цефеиды можно измерить с высокой степенью надежности. По величине периода однозначно определяют светимость звезды в максимуме. А если известна светимость звезды и ее яркость на небе, то легко вычислить расстояние. По цефеидам определяют расстояния до звездных скоплений в нашей Галактике и до других, относительно близких галактик, в которых удастся обнаружить «звездные маяки». То есть, это сейчас определяют, конечно, а в начале XX века спиральные туманности еще не были разделены на отдельные звезды, так что о внегалактических цефеидах и говорить не приходилось. Но вот в 1924 году, выяснив, что М 31 – звездная система, Хаббл обнаружил там и цефеиды, после чего оценил, наконец, расстояние, оказавшееся равным 1,5 миллиона световых лет, в 300 раз больше, чем полагал Ф. Бери! Вот почему вспышки новых звезд в этой туманности выглядели такими слабыми – ведь звезды эти оказались на самом деле в 300 раз дальше, чем предполагалось...

В конце двадцатых годов XX века астрономам стало ясно, что вспышка новой – не свидетельство смерти звезды. Конечно, эта вспышка для звезды совершенно бесследно не проходит. От звезды с большой скоростью – до нескольких тысяч километров в секунду – отделяется оболочка и уносится в межзвездное пространство. Удалось даже оценить, сколько именно вещества выбрасывает звезда. Оказалось, что немного – всего одну стотысячную долю массы Солнца. Какая уж тут гибель звезды – так, небольшая встряска...

А что же S Андромеды? Исключение, подтверждающее правило. Американский астроном Х. Кертис, один из сторонников идеи «островных Вселенных», писал, что не все новые звезды обязаны иметь в максимуме одинаковую яркость. Природа разнообразна, одна вспышка ярче, другая слабее. А S Андромеды отличалась от обычной новой, как луч прожектора от слабого пламени свечи. В галактике М 31 насчитываются десятки миллиардов звезд, и, тем не менее, S Андромеды светила всего в несколько раз слабее, чем все эти звезды вместе!

Вспомним: ведь и звезда Тихо была *очень* яркой новой, и звезда Кеплера, и звезды-гости 1006 и 1054 годов... Возможно, Кертиса заинтересовала бы эта аналогия, но он просто не знал об этих вспышках. В 1919 году древними новыми занялся другой американский астроном К. Лундмарк.

Легко видеть, как постановка задачи определяет и подход к ее решению. Кертис исследовал далекие туманности, и S Андромеды была для него досадным исключением. А Лундмарк перелопачивал исторические хроники, составляя список ярких вспышек,

зафиксированных летописцами. В списке Лундмарка такие яркие новые, как звезды Тихо и Кеплера, и им подобные явления, были не исключением, а правилом. В 1921 году Лундмарк опубликовал свой список новых звезд, в котором было 60 объектов.

Однако Кертис, и Лундмарк путали и сваливали в одну кучу два *разных* явления. Более того, такая путаница была неизбежна. Ведь то, что наблюдали летописцы и астрономы невооруженным глазом и в телескопы или видели на спектрограммах, само по себе еще ничего не означало. Это была книга, написанная каждый раз иначе. Даже если на одном языке, то всегда на разных диалектах. Если невозможно познание без наблюдений, то оно равно невозможно и без интерпретации. Правильная интерпретация порой может оказаться важнее наблюдений. К примеру, взять ту же туманность Андромеды. Ее спектр подобен спектру Солнца. Но ведь такой спектр имеет и Луна! Два совершенно разных природных феномена, представляющих неискушенному наблюдателю как одинаковые явления! Без дополнительных независимых аргументов (в данном случае таким аргументом стало разложение туманности Андромеды на звезды) нельзя сделать правильных выводов.

То же и с новыми. Звезда ярко вспыхивает и гаснет. Это можно сказать и о звезде Тихо, и о новой Персея. Разница в мощности вспышки? Но так ли это существенно? В мире звезд и не такие отличия случаются. К примеру, обычные звезды – Солнце и Бетельгейзе. Бетельгейзе светит в сотни тысяч раз ярче Солнца, вся орбита Земли может уместиться в разреженных недрах этой гигантской звезды. Но физически это подобные друг другу объекты: и Солнце, и Бетельгейзе светят за счет ядерных реакций. Между ними нет качественных различий, как, скажем, между звездой и планетой. Стоит ли поэтому удивляться, что в мире новых звезд тоже оказались свои карлики и свои гиганты?

Удивляться, конечно, стоит. И разнице между Солнцем и Бетельгейзе тоже нужно удивляться. Потому что на все есть причина. Не удивившись, не задавшись вопросом, вы никогда этой причины не нащупаете. Это во-первых. А во-вторых, между новой Персея и звездой Тихо есть и качественные отличия. Если обычные новые видны и после вспышки, то там, где вспыхивали звезды Тихо или Кеплера, не видно ничего. Напрашивается вопрос, задача для астрономов-наблюдателей: так ли уж *ничего* не остается после вспышек аномально ярких новых? И если действительно ничего – то почему?

### Метод проб и ошибок

Оставим поиск ответа на этот вопрос до следующей главы, а пока попробуем поработать с уже имеющимися фактами, понять, почему же так трудно рождается истина? Почему никогда путь к ней не бывает прямым?

Можно сказать: такова сущность науки. Но в природе нет науки, а есть лишь явления. Наука создана людьми, она продукт разума. И если, пользуясь методами науки, ученый вынужден переворачивать горы материала в поисках крупинцы истины, то не следует ли из этого, что существует дефект в самих методах?

Но может, наука ни при чем, а виновата психология ученых? Ведь и Кертис, считавший, что внешние галактики существуют, и Шепли, отрицавший это, пользовались не только одними и теми же наблюдениями, но одними и теми же научными методами. А выводы делали разные. Потому что *заранее* стали сторонниками различных отправных идей. Пока не найдено однозначного наблюдательного доказательства (в данном случае доказательства того, что туманность Андромеды состоит из множества звезд), основную роль играет не метод исследований, а психология ученого. Например, то, к какой школе он принадлежит.

Если нет такого однозначного наблюдательного доказательства, истина может, в конце концов, родиться и в споре, но тогда, когда будут исчерпаны *все* возможные аргументы против новой гипотезы. Все, что может быть сказано против идеи, должно быть сказано. Но и тогда в эту идею не будут верить до конца, пока опять-таки не будет получено то самое единственное доказательное наблюдение. Ведь сколько копий было сломано в споре об "островных Вселенных". А точку в споре наблюдение.

Астрономия – наука наблюдательная, и все же она не может развиваться без предположений, без споров, то есть без психологии тех ученых, которые обсуждают проблему.

Система Аристотеля больше тысячи лет считалась единственно верной. Сам стиль мышления был таким, что важно было: *кто* сказал. Фалес задолго до Аристотеля поставил Солнце в центр мироздания и заставил шарообразную Землю вращаться вокруг него. Но кто был Фалес перед Аристотелем, утверждавшим, что Земля неподвижна! И ведь исходил-то Аристотель из, казалось бы, верной посылки – из абсолютно надежных наблюдений, из того, что солнце встает каждое утро и движется по небу! Но не все наблюдения использовал философ. Можно было и возразить. Круглая тень Земли на лунном диске во время затмения, например, свидетельствовала о том, что Земля – шар. Если бы шли споры, если бы рождались гипотезы, истина, возможно, восторжествовала бы задолго до Коперника. Но психология людей была такова, что привычно было склоняться перед авторитетом. В моде были не ученые, а схоласты. Ценилось не воображение, не умение мыслить, но знания и память.

О психологии научных споров, о психологии ученых сейчас известно гораздо больше, чем о методологии науки. Это естественно. Поведение ученого, его поступки видны. А вот о ходе размышлений можно узнать только по рассказам авторов гипотез. Реально же идея зачастую развивается в подсознании, и возникновение ее зависит от многих причин, о которых сам исследователь и не подозревает. Значит, и не расскажет. А ведь познание *объективного* мира не может быть в принципе только субъективным процессом, оно должно происходить по объективным законам развития идей и понятий. По законам, познать которые труднее, чем законы психологии творчества. Труднее, но важнее. Вот, что говорил Г. Лейбниц: «На свете есть вещи поважнее самых прекрасных открытий – это знание метода, с помощью которого они были сделаны».

Речь здесь идет не о тех общих методах познания, которые изучает философия. Как известно, мышление от чувственного восприятия переходит к абстракции, а затем вновь возвращается к опыту. Это общий принцип. Мы же говорим о конкретных методиках, о том, как, например, должен рассуждать ученый, чтобы, исходя из данной совокупности явлений, заведомо точно прийти к верному решению, не отвлекаясь на ложные ходы мысли. Природа объективна, решение научной проблемы всегда единственно, как единственна конкретная истина. Значит, и ход решения научной задачи должен отражать объективные законы поиска научной истины вообще.

Будь у астрономов начала XX века общий метод решения научных проблем, не было бы и неверного шага в расследовании о «делах о гибели звезды». Уже тогда было создано немало гипотез для объяснения вспышек новых звезд. Об очень ярких новых, таких, как звезда Кеплера, мы пока говорить не будем (тем более что астрономы начала XX века и не знали, что это другой класс явлений!). Поговорим пока об обычных новых звездах, какие десятками вспыхивают в туманности Андромеды каждый год и каких сейчас в нашей Галактике насчитывается больше двухсот. Ежегодно астрономы замечают одну-две новые вспышки в нашей Галактике. Конечно, их значительно больше, ведь новые обычно вспыхивают недалеко от галактической плоскости, где много газа и пыли, поглощающей свет. Новых звезд много, но и гипотез было ненамного меньше. Так же, как сами новые, гипотезы эти вспыхивали и гасли. Шел обычный в науке перебор вариантов, поиск истины методом *проб и ошибок*.

Казалось бы, вот он, истинно научный метод. Наука действительно пользуется им много веков. Но это вовсе не тот метод, который соответствует объективному ходу развития системы научных знаний. Это лишь констатация того, что в течение веков, да и сейчас, истина достигается путем проб и ошибок...

## Гипотезы – одна за другой

Итак, какие же гипотезы предлагались для объяснения феномена новых звезд? Почему мы можем утверждать, что ученые пользовались именно методом проб и ошибок?

Видимо, первой гипотезой была гипотеза Кеплера. Объясняя вспышку 1604 года, Кеплер исходил не из конкретного факта, а как было принято – из общих мировоззренческих позиций. Кеплер был сторонником гармонии небесных сфер, он даже одушевлял материальный мир. Причиной небесных явлений он полагал побуждения, владевшие звездами и планетами. А поскольку побуждения у звезд и планет, конечно, всегда были гармоничными, то, к примеру, и двигаться небесные тела могли лишь по законченным в своей красоте круговым орбитам. Сколько душевных сил пришлось затратить Кеплеру, чтобы отказаться, в конце концов, от окружностей и сфер! Аналогично рассуждал Кеплер и о вспышке звезды-гостя. По его мнению, это было проявление некоей «*anima mundi*» – покоящейся в мировой субстанции алхимической мировой души...

Это была идея, о которой трудно спорить. Никто и не спорил. Двести лет с тех пор звезды-гостя не появлялись. Поэтому и следующая гипотеза (будем считать ее первой в нашем списке), положившая начало эпохе споров о природе новых звезд, первая проба сил и первая ошибка, появилась лишь в конце XIX века. Автор гипотезы, немецкий астроном Г. Зеелигер знал уже, что в одной из туманностей (в туманности Андромеды) вспыхнула новая звезда. И потому он сказал: двигаясь по своему пути, звезда влетает в газовую туманность и нагревается. Так, как нагревается летящая в воздухе пуля. Конечно, горячей становится не только пуля, но и воздух. Разогревается и туманность, которую пронзает звезда. Это суммарное излучение нагретых от трения звезды и туманности мы видим.

Вторая гипотеза тоже принадлежала к серии «небесные катастрофы». Предложил ее английский астроном Н. Локиер. Звезды в этой гипотезе не фигурировали вовсе, остались только столкновения. По Локиеру, сталкиваются два летящих навстречу друг другу метеорных потока. Какими же должны быть плотности этих потоков, чтобы свечение столкнувшихся метеоров продолжалось несколько месяцев!

Третью гипотезу из той же серии предложил шведский ученый С. Аррениус. Сталкиваются две звезды. Точнее, бывшие звезды. Обе успели остыть и погаснуть, потому и не видны, но вот произошло столкновение «в лоб», энергия движения перешла в тепло. Взрыв!

Все три гипотезы обладают общей особенностью: они утверждали, что в тепло переходит механическая энергия движения. А в движении участвуют объекты двух типов: звезды и среда. Первая гипотеза: столкновение звезды со средой. Вторая гипотеза: столкновение двух сред. Третья гипотеза: столкновение двух звезд. Испытаны все комбинации из двух элементов. На этом серия гипотез «столкновения» себя, естественно, исчерпала.

Вторая серия гипотез может быть названа «почти столкновения». Ведь драматические события на поверхности звезды могут быть вызваны и не прямыми столкновениями, а близкими прохождением. Вызывает же приливы на Земле наша соседка Луна! Но до Луны (сейчас, во всяком случае) довольно далеко, а звезды могут проходить друг около друга, почти соприкасаясь.

Четвертая гипотеза принадлежит советскому астрофизику А.А. Белопольскому, который систематически наблюдал новые звезды в течение трех десятилетий. Он был прекрасным знатоком их спектров и потому своей гипотезой прежде всего пытался объяснить спектральные особенности новых звезд. По мнению А.А. Белопольского, в направлении наблюдателя движется холодная звезда большой массы с плотной водородной атмосферой. А навстречу ей – горячая звезда, масса которой меньше. Горячая звезда огибает холодную по параболе, разогревая своим движением ее атмосферу. После этого звезды вновь расходятся, но теперь обе движутся к нам. Блеск уменьшается, новая гаснет...

Пятая гипотеза. Предложил ее английский астроном У. Хеггинс. Здесь тоже близкое прохождение двух звезд. Возникают мощные приливы, вспышки, извержения. Их-то мы и наблюдаем.

Во всех этих гипотезах фигурируют две случайно пролетающие друг около друга звезды. Как избавиться от элемента случайности? Что если сделать так, чтобы звезды *всегда* находились друг около друга? Что же, бывает и так – в двойной системе.

Немецкий астроном В. Клинкерфус и предложил гипотезу, согласно которой две звезды обращаются друг около друга по очень вытянутым орбитам. В тот момент, когда расстояние между звездами минимально (звезды находятся в периастре, как говорят астрономы), возникают мощные приливы, выбросы, извержения, как и в гипотезе Хеггинса. Вспыхивает новая.

Отметим одну особенность. Гипотеза Клинкерфуса (шестая в нашем списке) появилась на самом деле раньше идей Белопольского и Хеггинса, хотя логически должна была бы возникнуть после них, чтобы разрешить связанное с этими гипотезами противоречие. То, что она появилась раньше, как раз и говорит, что шел перебор вариантов (метод проб и ошибок!), и идея двойной системы выглядела ничем не лучше прочих. А между тем у нее было неоспоримое достоинство: она избавляла вспышки от элемента случайности, делала их явлением закономерным и даже повторяющимся. Более полувека спустя было доказано, что новые звезды действительно вспыхивают в двойных системах. Доказано наблюдениями. Но даже во времена Клинкерфуса идея двойственности новых звезд могла и не быть *случайной* идеей, если бы удалось нащупать ее методологические достоинства. Гипотеза Клинкерфуса стала лишь очередным звеном в цепочке «а если...». Случайно Клинкерфус попал в девятку (все же не в яблочко). О том, что идея двойных систем – богатая идея, имеющая далеко идущие последствия, не догадывались ни Клинкерфус, ни другие астрономы, не обратившие на гипотезу особого внимания. В последовавших затем работах Белопольского и Хеггинса двойные системы даже не упоминались. Да и вся серия «столкновений» и «почти столкновений» на том и кончилась, исчерпав все варианты.

Следующая серия гипотез возникла уже после того, как в 1924 году Э. Хаббл и Дж. Ричи доказали, что туманность Андромеды – далекая галактика. После того, как и в М 31 были обнаружены вспышки новых звезд. Всем было ясно, что случайные столкновения звезд – явление очень и очень редкое, почти невероятное. Столкновениями не объяснишь, почему в туманности Андромеды происходит так много вспышек. Об идее Клинкерфуса не вспомнили, хотя она снимала это противоречие. Ученые обратились к разработке новой серии гипотез – вспышки новых как следствие внутренних процессов в самих звездах. Тому была объективная причина: в двадцатых годах появились первые исследования по внутреннему строению звезд, попытки объяснить (например, аннигиляцией вещества и антивещества), почему звезды светят, почему они так горячи. Естественно было применить новые теоретические идеи и для объяснения звездных вспышек.

Первую гипотезу этой новой серии (седьмую в нашем списке) предложил английский астроном Э. Милн. Любая звезда может вспыхнуть как новая, утверждал он, это не случайность, а закономерность. Внутренние силы вызывают взрыв, со звезды срывается и с большой скоростью уносится ее внешняя оболочка. А сама звезда при этом сжимается, превращаясь в белый карлик. Происходит это на закате звездной эволюции, поэтому можно считать, что вспышка новой действительно свидетельствует о гибели звезды.

Последнее обстоятельство и погубило идею Милна. Ведь новые звезды видны и до, и после вспышки! Из-за этого не прошли испытания критикой и другие аналогичные гипотезы, выдвинутые независимо друг от друга Г.А. Гамовым (гипотеза № 8) и немецким астрономом В. Гротрианом (гипотеза № 9). Речь шла о том, что вспышку вызывают термоядерные процессы, протекающие в центральной части звезды. Проблема, однако, в том, что центральный взрыв должен вызвать слишком большие изменения в структуре звезды. По Милну, такой взрыв способен превратить даже обычную звезду в белый карлик, размеры которого близки к размерам Земли, а плотность достигает тонны в одном

кубическом сантиметре! На самом деле при центральном взрыве (это мы знаем сегодня!) может произойти нечто гораздо более страшное для звезды, чем вспышка новой. Как в свое время Клинкерфус случайно подошел вплотную к правильной идее о причине вспышек новых звезд, так и Милн, сам того не подозревая, решал совсем другую и тоже очень важную задачу, но связанную не с новыми звездами, а со звездами-гостями. И тоже не довел решение до конца...

Итак, центральный взрыв не объяснил вспышек новых звезд. Настал черед следующего «а если». А если взрыв происходит не в центральной части звезды, но на периферии, неглубоко под поверхностью? Эту гипотезу (десятую в нашем списке) предложили в 1933 году В.А. Амбарцумян и Н.А. Козырев, а численно она была разработана лишь 14 лет спустя А.И. Лебединским и Л.Э. Гуревичем. В этой идее тоже оказалось рациональное зерно. Взрыв действительно происходит на периферии, так говорит *современная* теория. Но откуда поступает горючее для взрыва? Лебединский и Гуревич считали, что изнутри звезды, в результате перестройки ее структур.

В начале пятидесятых годов одновременно существовали несколько «а если». В.А. Воронцов-Вельяминов считал, что новая звезда – это промежуточный этап в звездной эволюции, когда горячий голубой гигант, сбрасывая излишек массы, превращается в голубой или белый карлик. Это уже одиннадцатая гипотеза, она похожа на идею Милна, но обладает одним отличием – она оптимистичнее. По Милну, любая звезда может вспыхнуть, в том числе и наше Солнце. Даже ставился вопрос, не должно ли человечество готовиться к катастрофе? В соответствии же с гипотезой Воронцова-Вельяминова Солнце не может взорваться – ведь оно не горячий гигант, а всего лишь желтый карлик, терять массу ему ни к чему, ибо избытка массы у него нет.

Недостатки гипотез Милна и Воронцова-Вельяминова одинаковы. В обоих случаях звезда после взрыва *меняется*. А наблюдения показывали, что и до, и после вспышки звезда практически такая же.

В 1954 году Н.А. Копылов выдвинул еще одну гипотезу. А если это молодые звезды? – предположил он. При возникновении молодая звезда может оказаться неустойчивой, может вспыхнуть один или несколько раз, но потом успокаивается, становится обычной звездой, расположенной на так называемой главной последовательности.

Мы перечислили дюжину «а если». На деле их было, конечно, больше. И все неправильные, хотя в некоторых и содержалось зерно истины. Десятки ошибочных проб существенно не приблизили разгадки тайны новых звезд – зерен в этих пробах не разглядели, а когда появилось единственное, решающее загадку наблюдение, то о старых гипотезах забыли и сами авторы. Забыли и о зернах. Перечисленные гипотезы – это плоды мысли, которые сами авторы сочли достаточно зрелыми, чтобы вынести на суд коллег. А сколько проб и ошибок так и осталось невысказанными, погребено в тиши кабинетов! Таков этот естественный метод научного поиска – пробы и ошибки.

В астрономии, как мы уже говорили, всякий спор обычно решают наблюдения. Проблема новых звезд не была исключением. Открытие оказалось неожиданным, тогда как при правильном ведении «следствия» оно, это открытие, могло быть предсказано заранее.

Когда спор о природе новых звезд разгорелся с особенной силой, шел 1954 год, М. Уокер на обсерватории Маунт Вилсон проводил наблюдения бывших новых, то есть тех слабых звездочек, что остались на месте вспышек. Он исследовал систему DQ Геркулеса, вспышка которой наблюдалась двадцатью годами раньше. Уокер измерял колебания блеска и обнаружил, что они как две капли воды похожи на изменения блеска затменных двойных звезд. Каждые пол-оборота одна звезда затмевает от нас другую, и блеск системы на некоторое время уменьшается. Такая кривая блеска получилась и для DQ Геркулеса. Период, с которым следовали друг за другом затмения, оказался равным всего 4 часам и 39 минутам. Никто прежде не наблюдал такого короткого периода у затменно-двойных звезд. Если период обращения звезд друг около друга так мал, то должно быть невелико и расстояние между звездами. Значит, и сами звезды не могут быть гигантами. Уокер определил, что

массы звезд в системе DQ Геркулеса должны быть в несколько раз меньше массы Солнца. Обе звезды в системе бывшей новой оказались карликами.

Прошло несколько лет, и наблюдатели обнаружили, что бывшие новые звезды в созвездиях Северной Короны и Лебедя тоже являются тесными двойными системами. И тогда французский астрофизик Э. Шацман (и независимо от него чешский астрофизик З. Копал) высказал идею о том, что *все* новые звезды – двойные системы. Эту гипотезу взялся проверить Р. Крафт на обсерватории Маунт Паломар. Он исследовал десять новых и повторных новых звезд (повторные новые вспыхивали два или более раз), шесть из них оказались двойными, а одна – даже кратной системой! О трех оставшихся звездах Крафт ничего сказать не мог – не доставало наблюдательных данных.

Гипотеза Шацмана и Копала (а не правильнее ли сказать – идея Клинкерфуса?) получила столько наблюдательных подтверждений, что стала истиной. Сейчас астрофизики нисколько не сомневаются в том, что новые звезды вспыхивают в двойных системах.

### Новые звезды – двойные системы

В двойственности кроется и причина вспышки. В соответствии с гипотезой о периферическом взрыве требуется приток вещества. Откуда это вещество берется? Изнутри, – говорили Лебединский и Гуревич. Извне, – сказал Шацман. Вещество поступает с поверхности второй звезды. Оно постепенно накапливается на поверхности первой компоненты – а компонентой этой, скорее всего, является белый карлик с его большим гравитационным потенциалом и плотной атмосферой, где условия благоприятствуют быстрому горению водорода. Вещество накапливается, создаются условия для ядерных реакций синтеза – и взрыв! Оболочка сбрасывается. Система возвращается к прежнему состоянию. Но вторая звезда продолжает терять вещество, и течет это вещество к белому карлику, образует около него вращающийся диск, а из диска постепенно оседает на поверхность. Накопление – и взрыв! История повторяется. Чем больше накапливается водорода в атмосфере белого карлика, тем более мощной получается вспышка.

Итак, казалось бы, с новыми все ясно. Звезда после вспышки остается «живой и здоровой». Да, но проблема новых звезд еще далека от окончательного решения. Пробы и ошибки продолжают. Просто была отсечена очень большая область, где отныне поиски не ведутся.

Детали вспышек далеко не ясны. Почему теряет вещество вторая звезда? Ведь это, как показали наблюдения, обычный красный карлик, масса его во многих таких системах составляет примерно половину массы Солнца. Такие звезды живут очень долго, не проявляя тенденции терять вещество. Почему же это происходит в системах, которые вспыхивают как новые звезды?

Ну хорошо, пусть красный карлик теряет вещество, но сколько его падает затем на белый карлик, а сколько и вовсе теряется из двойной системы? Как накапливается водород в атмосфере белого карлика? Точно ли, что именно атмосфера вспыхивает? А может, вспышка все же происходит в атмосфере красной звезды?

И вот еще: сейчас обнаружены десятки и сотни систем, состоящих из красного и белого карликов. Далекое не всегда в таких системах наблюдались вспышки новых. Гораздо чаще вспышки были небольшими (три-четыре звездные величины) и недолгими (несколько часов или дней) и повторялись через несколько месяцев. Все такие системы получили общее название «взрывных», или «катаклизмических». И возникла новая проблема, в дополнение ко всем предыдущим. Почему в некоторых случаях вспышка получается небольшая, а иногда действительно происходит катаклизм?

Были гипотезы о том, что новая вспыхивает тогда, когда взрывается водород в атмосфере белого карлика, а прочие слабые вспышки происходят, напротив, в атмосфере красной звезды. Были гипотезы о том, что существенную роль во вспышках играет магнитное поле белого карлика – а оно действительно может быть очень большим, достигая сотен

миллионов гауссов. Были и гипотезы, согласно которым главную роль играет процесс перетекания вещества, его втекание во вращающийся диск около белого карлика. В общем, как вы заметили, поле проб и ошибок продолжало разрабатываться. Оно еще не прополото полностью, и много ошибок еще будет совершено, пока не появится надежная и действительно все объясняющая теория вспышек новых звезд. Очень многое ясно, конечно, и сейчас. То, что новые вспыхивают в тесных двойных системах. То, что загорается, скорее всего, водород на поверхности белого карлика. То, что вещество это перетекло на белый карлик из диска, а в диск попало с поверхности нормального компонента этой двойной системы. И детали перетекания вещества сейчас изучены достаточно подробно – и с наблюдательной, и с теоретической точек зрения.

Но можно ли сказать, что астрофизики уже все знают о новых звездах? Нет, конечно. Есть еще нерешенные проблемы, неразгаданные загадки. И нет конца пробам и ошибкам...

## **Глава вторая** **Этот таинственный Краб**

*...Венец научной работы есть предсказание.  
Оно раскрывает нам даль грядущих явлений.  
Н.А.Умов*

### **Тайна опечатки**

Хорош ли на самом деле метод проб и ошибок? Прогрессивен ли? Когда в 1960 году Д. Сендейдж открыл квазары, а М. Шмидт и его коллеги два года спустя получили их спектры, сразу посыпались гипотезы. Сотня гипотез о природе квазаров за три года! И почти столько же мучительных ошибок, за каждой – тонны переработанной мыслительной руды, оставшейся в отвалах. В этом наука сродни поэзии и вообще искусству.

Впрочем, не будем романтизировать то, о чем нужно забыть. Муки творчества романтичны, если они не тормозят, а ускоряют работу. А пробы и ошибки работу тормозят. Ведь ученый ведет поиск не во всех направлениях. Он выбирает какую-то рабочую гипотезу и перебирает ее варианты – ставит мысленные или реальные эксперименты, проводит наблюдения. А если неверна сама идея? Пользуясь ею, исследователь бодро движется совсем не в том направлении, где лежит решение. Об этом писал еще Декарт три с половиной века назад. «Ведь как путники, в случае, если они обратятся спиной к тому месту, куда стремятся, отдаляются от последнего тем больше, чем дольше и быстрее шагают, так что, хотя и повернут затем на правильную дорогу, однако не так скоро достигнут желаемого места, как если бы вовсе не ходили, – так точно случается с теми, кто пользуется ложными началами: чем более заботятся о последних и чем больше стараются о выведении из них различных следствий, считая себя хорошими философами, тем дальше уходят от познания истины и мудрости».

Сказано хорошо. Если нет надежной рабочей гипотезы, если нет уверенности, что избранная дорога верна, то не лучше ли стоять на месте? Сказать: «Не знаю»?

Однако все это не в принципах науки. Ни один ученый не скажет «не знаю», если решил заняться проблемой. Лучше уж он будет идти в противоположном от истины направлении. Темп развития науки в наши дни велик, поле поиска огромно, а метод остался прежним, как столетия назад. И ученый вынужден перебирать гипотезы, зачастую не успевая заниматься их детальной разработкой. Изменился стиль работы. Психолог Г.Селье делит ученых на классиков и романтиков. Классики работают тщательно, романтики скачут от гипотезы к гипотезе. И это не только психологическая особенность, это – требование эпохи. Раньше в поле зрения ученого находился десяток гипотез, теперь – сотни и тысячи. Вот и приходится скакать от идеи к идее. Но ведь так можно пробежать и мимо верного решения! Именно это не раз случалось и в расследовании причин явления ярчайших новых.



Вернемся, однако, к нашему расследованию с тем, чтобы позднее на новом материале поговорить о научных методах.

Трудность заключалась в том, что координаты звезды-гостьи 1054 года на небе не были точно известны. Мы уже говорили о каталоге ярких новых звезд, опубликованном Лундмарком. Поисками упоминаний о таких звездах Лундмарк заинтересовался в 1919 году. Он изучал работы А. Гумбольдта и Ж.Б. Био, вышедшие еще в XIX веке. Это были переводы древних хроник с рассказами о небесных явлениях. Использовал Лундмарк и напечатанные в 1919 году переводы Е. Циннера. Отобранные Лундмарком вспышки оказались настолько яркими, что известный американский астроном Х. Шепли заявил: таких новых звезд в принципе быть не может. Конечно, это заблуждение стало отголоском проходившего в то время диспута о том, существуют ли «островные Вселенные». Х. Шепли считал, что не существуют. Спор должно было решить наблюдение – там, где вспыхивали яркие новые, предстояло найти то, что от этих вспышек осталось.

И тут-то вкралась опечатка! В списке Лундмарка о звезде-гостье 1054 года было сказано, что она вспыхнула к юго-востоку от звезды  $\eta$  Тельца. А в примечаниях Лундмарк отметил, что поблизости расположена туманность М 1, именуемая обычно Крабовидной. Однако на это примечание никто не обратил внимания. Естественно: каждый, кто посмотрел бы на карту неба, увидел бы, что туманность М 1 находится вблизи от другой звезды в Тельце. Лишь 17 лет спустя Лундмарк исправил опечатку. Звезда-гостья, написал он, в действительности вспыхнула к юго-востоку от звезды  $\zeta$  Тельца, то есть именно там, где расположена туманность М 1.

Остаток вспышки звезды-гостьи 1054 года – туманность! И обнаружено это было бы на полтора десятилетия раньше, если бы не досадная опечатка. Итак, после явления звезды-гостьи на небе осталась туманность...

Впервые эту туманность наблюдал в 1731 году английский физик и астроном-любитель Д. Бевис. Он обозначил открытую им туманность на картах звездного неба в атласе «Уранография Британика», который собирался издать. Но издатель неожиданно обанкротился, и Д. Бевис умер, так и не дождавшись публикации атласа. Лишь полвека спустя, в 1786 году карты Бевиса (без упоминания его имени!) вошли в изданный в Лондоне звездный атлас. К тому времени туманность была заново открыта Ш. Мессье, астрономом при дворе короля Людовика XV. Мессье называли ловцом комет. Он искал кометы, стараясь обнаружить их тогда, когда они не обзавелись еще ярким хвостом и были видны лишь в телескопы. Чтобы обезопасить себя от путаницы, Мессье составил атлас «туманных пятен» на небе, отличавшихся от слабых комет лишь тем, что в отличие от хвостатых сестер не двигались относительно звезд. Под номером 1 в каталоге Мессье и значилась туманность, открытая Бевисом. Французский астроном к моменту публикации своего каталога уже знал, что не он первым наблюдал туманность М 1, и воздал должное своему предшественнику. Не будь этого, мы вообще вряд ли узнали бы о том, что был любитель астрономии по имени Бевис...

Итак, туманность М 1 была занесена в каталог. Правда, никто не мог ничего сказать о ее физической природе. В. Гершель, например, считал, что это далекое звездное скопление, и будь у него телескоп побольше, он непременно разглядел бы в туманном пятнышке отдельные звезды. Такой телескоп был у лорда Росса, но и Росс не смог увидеть в туманности М 1 ни одной звезды. Однако он сделал две важные вещи. Во-первых, Росс обнаружил, что туманность имеет волокнистую структуру – при внимательном рассмотрении он с трудом, но все-таки различил в ее аморфной массе едва-едва заметные изогнутые нити, волоконца. Во-вторых, при еще более внимательном рассмотрении туманность показалась лорду Россу похожей на краба, и он назвал туманность М 1 Крабовидной. Под этим названием она и известна сегодня – памятник воображению, способному разглядеть все что угодно в туманном пятнышке.

В наши дни Крабовидная туманность – один из самых известных небесных объектов. Огромное количество важнейших астрономических открытий связано с ней! И все из-за

того, что туманность образовалась при вспышке звезды-гостыи. Впрочем, обнаружить эту связь было очень непросто. И не только из-за нелепой опечатки в списке Лундмарка.

### Первые загадки Крабовидной туманности

В 1892 году У. Робертс впервые сфотографировал Крабовидную туманность, а В. Слайфер в 1913 году получил ее первые спектрограммы. В отличие от прочих газовых туманностей спектр Краба оказался непрерывным. На этом фоне были видны раздвоенные линии излучения. Если излучает нагретое облако межзвездного газа, то обычно видны *только* линии излучения: ведь непрерывный спектр – результат излучения плотного непрозрачного тела, например, звезды. Но здесь-то излучала не звезда, а туманность. Значит, как и у прочих туманностей, спектр М 1 должен был представлять собой частокол линий излучения различных химических элементов – прежде всего, конечно, водорода. Почему же спектр туманности оказался непрерывным, а не линейчатым? Загадка излучения Краба просуществовала долго – почти сорок лет.

В 1921 году, когда Лундмарк опубликовал свой список новых звезд, Крабовидная туманность преподнесла еще одну загадку. К. Лампланд сравнил две фотографии М 1, сделанные с интервалом в восемь лет, и обнаружил, что туманность за это время изменилась. Волоконца переместились друг относительно друга, причем очень заметно. Такое же исследование провел Дж. Дункан и пришел к еще более определенному выводу – туманность расширяется! Значит, когда-то она была очень маленькой, могла быть даже размером со звезду – и этот момент можно рассчитать, если знать нынешние размеры туманности и скорость, с которой она расширяется. Снимки, которыми располагал Дункан, не позволяли еще произвести надежный расчет – нужны были более длительные измерения. Однако никто из наблюдателей не подумал о том, что эта расширяющаяся туманность может иметь какое-то отношение к взрыву звезды. Пусть не звезды-гостыи 1054 года (пресловутая опечатка «отодвигала» туманность прочь от места вспышки), но к любому другому взрыву. Ведь тогда уже было известно, что во время вспышек обычных новых звезд образуются расширяющиеся оболочки, не такие, впрочем, эффектные, как Крабовидная туманность. В 1917 году Е. Барнард обнаружил оболочку у новой Персея, а через год – оболочку у недавно вспыхнувшей новой в созвездии Водолея. Аналогия напрашивалась, но...

А ведь известно было и второе доказательство расширения Крабовидной туманности: раздвоение линий излучения в ее спектре. Почему могут раздваиваться спектральные линии? Потому, например, что атомы излучают в сильном магнитном (эффект Зеемана) или электрическом (эффект Штарка) поле. Но причиной расщепления может стать и обычный эффект Доплера. Мы ведь наблюдаем оба края – ближний и дальний – прозрачной расширяющейся туманности. Передний край ее приближается к нам, задний удаляется. Линии, излученные на переднем крае, смещаются из-за эффекта Доплера в голубую сторону, а линии, излученные на удаляющемся от нас заднем крае, – в красную. Вот и кажется, что каждая спектральная линия разделилась на две. Но... Как это обычно бывает при работе при работе с помощью метода проб и ошибок, ученый сначала делает все возможные ошибки, даже если ошибочная идея явно неправдоподобна. В. Слайфер, который открыл расщепление линий в спектре Крабовидной туманности, писал: «Главные небулярные эмиссионные линии представляются расщепленными на два компонента, что заставляет предположить наличие эффекта Штарка, обусловленного электрическим полем». Прямотаки заставляет...

Все же семь лет спустя мнение о том, что Крабовидная туманность может быть связана со вспышкой 1054 года, было высказано американским астрофизиком Э. Хабблом. Но на эту работу просто не обратили внимания! Причина была существенной – Хаббл опубликовал свою статью в журнале, не пользовавшемся популярностью, и о его предположении мало кто узнал.

Сразу весь «букет» невезения: спектр туманности неправильно интерпретировали, в определение места вспышки звезды-гостя вкралась опечатка, а статья, содержащая правильную гипотезу, была опубликована в мало популярном издании. И в результате эффектное астрономическое открытие запоздало на двадцать лет...

Таким было состояние исследований Крабовидной туманности в 1938 году, когда Лундмарк исправил, наконец, злосчастную опечатку.

В то время с фотографиями Крабовидной туманности работал американский астроном Р. Минковский. Он сравнил друг с другом фотографии, сделанные с интервалом в несколько лет, и определил среднюю скорость, с которой расширялась туманность: около 0,2 угловой секунды в год. Если туманность все время расширялась с такой быстротой, то семьсот лет назад она должна была представлять собой точку на небе. Следовательно, тогда-то Крабовидная туманность и возникла.

Однако мы ведь знаем, что после явления звезды-гостя прошло на два века больше! Минковский, впрочем, вовсе не утверждал, что Крабовидная туманность и звезда-гостя 1054 года связаны в единое целое. Надежно это было доказано лишь в 1942 году Н. Мейолом на Ликской обсерватории и одновременно – Ж. Оортом. Только тогда у астрофизиков появилась уверенность в том, что после вспышки 1054 года возникла газовая туманность, которую мы называем Крабовидной. Уверенность – великая сила. Если человек точно знает, что два явления связаны, а со скоростью расширения туманности получается неувязка, что он сделает? Он изменит скорость, будет утверждать, что раньше скорость расширения могла быть меньше, а если раньше туманность расширялась медленнее, то и возраст ее, определенный по величине скорости, будет не семь веков, а существенно больше. Именно такой вывод и был сделан на самом деле. Крабовидная туманность, оказывается, расширяется все быстрее и быстрее!

Так возникла еще одна загадка Краба, и отгадать ее удалось больше двух десятилетий спустя.

Что же стало с самой вспыхнувшей звездой? Неужели от нее не осталось *ничего*, кроме туманности?

Поиск звездного остатка вспышки 1054 года – другая, и тоже драматическая, история.

### **Бааде и Цвикки предсказывают нейтронные звезды**

В конце двадцатых годов из Европы в США приехал работать немецкий астроном В. Бааде. На обсерватории Маунт Вильсон он начал сотрудничать со швейцарским астрономом В. Цвикки, тоже покинувшим родину, чтобы поработать на больших телескопах Америки. Сотрудничество Бааде и Цвикки оказалось удивительно плодотворным. В 1934 году они опубликовали работу, в которой предложили чрезвычайно интересные идеи, связанные с проблемой вспышек очень ярких новых звезд. Во-первых, Бааде и Цвикки дали таким новым название. Пусть, – сказали они, – очень яркие новые звезды называются сверхновыми. Название довольно бессмысленное, потому-то, наверно, оно прижилось сразу и без обсуждений. Так же, как Краб. Чем меньше смысла в названии, тем оно легче запоминается...

В работе Бааде и Цвикки было много правильных идей. Они подошли к проблеме сверхновых звезд как теоретики, но использовали весь имевшийся в их распоряжении наблюдательный материал. Начали они, однако, вовсе не с проблемы новых или сверхновых – их заинтересовала не менее актуальная в те годы проблема происхождения космических лучей. Космическими лучами называют высокоэнергичные частицы, лавиной падающие на Землю из космического пространства. Частицы такой большой энергии, какая встречается в космических лучах, физики до сих пор не смогли получить на самых мощных ускорителях. Откуда берутся эти частицы? Где их источник? Бааде и Цвикки впервые сказали: космические лучи могут генерироваться при вспышках сверхновых звезд. Они связали в единое целое два явления с приставкой «сверх»: сверхэнергичные частицы и сверхяркие

звездные вспышки. Таким было первое правильное предсказание Бааде и Цвикки. Вторая их идея была еще интереснее и, если можно так выразиться, еще правильнее. Бааде и Цвикки предсказали *нейтронные звезды*.

Вот как они рассуждали.

Оптическая светимость сверхновой звезды в максимуме яркости в сотни миллионов раз больше светимости Солнца. В 1934 году это было уже известно, поскольку существовали надежные определения расстояния до галактики М 31, где вспыхивала очень яркая новая (сверхновая!) S Андромеды. Солнце ежесекундно излучает около  $4 \times 10^{33}$  эрг – эта энергия уносится в космос электромагнитными волнами всех частот. Значит, если оптическое излучение сверхновой звезды в сто миллионов раз больше, то составляет оно приблизительно  $4 \times 10^{41}$  эрг/с. Но, кроме оптического, звезда излучает много энергии в невидимых глазом диапазонах – ультрафиолетовом, инфракрасном и других. Чтобы учесть и это излучение, Бааде и Цвикки увеличили оптическую светимость в 10 миллионов раз. Полная (или, как говорят астрономы, болометрическая) светимость сверхновой в максимуме яркости оказывается в таком случае около  $10^{48}$  эрг/с. Сверхновая светит несколько месяцев, но за такой короткий срок успевает излучить до  $10^{53}$  эрг энергии.

Такие числа приведены в статье Бааде и Цвикки. А теперь несколько чисел для сравнения. Вся тепловая энергия, заключенная в обычной звезде, составляет около  $10^{47}$  эрг – в миллион раз меньше. Для того, чтобы рассеять в пространстве все вещество Солнца, нужно совершить работу, равную  $7 \times 10^{48}$  эрг – в 15 тысяч раз меньше, чем излучает сверхновая! Ясно, что при вспышке сверхновой со звездой непременно должно произойти нечто катастрофическое. Во время вспышки новой звезды излучается  $10^{45}$  эрг. Такой взрыв звезда еще способна выдержать без ущерба для своего «здоровья», у нее вполне достаточно энергии и не для одной подобной вспышки. Но уж взрыва такого масштаба, как сверхновая, звезда перенести не в состоянии.

Нужно, впрочем, сказать, что множитель 10 миллионов, на который Бааде и Цвикки увеличили оптическую светимость сверхновой, довольно произволен. Современные оценки показывают, что полная энергия, излученная сверхновой за время вспышки, достигает  $10^{51}$  эрг – в сто раз меньше, чем предполагали Бааде и Цвикки (правда, недавно обнаружены так называемые гиперновые, чье полное излучение даже превышает  $10^{53}$  эрг – об этом явлении пойдет речь в главе 8). Но существа дела эта поправка не меняет. Звезда не может пережить подобную катастрофу. Во что же она превращается? Если звезда погибает, то что представляет собой ее «труп»?

Вот что писали Бааде и Цвикки:

«Со всеми подобающими оговорками мы выдвигаем гипотезу, что сверхновая представляет собой переходную стадию от обычной звезды к *нейтронной*, состоящей главным образом из нейтронов. Такая звезда может обладать очень малым радиусом и чрезвычайно высокой плотностью. Поскольку нейтроны могут быть упакованы гораздо более тесно, чем обычные ядра и электроны, энергия гравитационной упаковки в *холодной* нейтронной звезде может стать большой и при определенных условиях во много раз превосходить значения, соответствующие типичным ядерным упаковочным множителям. Предположение, что *сверхновые испускают космические лучи*, весьма удовлетворительно согласуется с большинством основных наблюдений космических лучей».

Идеи Бааде и Цвикки опередили свое время лет на тридцать! «Виновато» было богатое творческое воображение этих ученых. До них никто не предсказывал новых типов небесных тел. Новые явления на небе обычно открывают астрономы-наблюдатели. И лишь в процессе интерпретации наблюдений начинает проявлять себя творческое воображение теоретика. Тем интереснее, что нейтронные звезды были предсказаны теоретически.

Важно, что, занявшись проблемой космических лучей и сказав, что такие лучи рождаются во вспышках сверхновых, Бааде и Цвикки не остановились, как это обычно бывает (автор обрадован тем, что в голову пришла хорошая идея, и дальше уже не думает). Они задались вопросом: что происходит со звездой после взрыва?

В 1934 году еще не было правильных идей о том, как эволюционируют звезды. Гипотез было много, конечно, но все из серии проб и ошибок – точнее, из серии ошибок, без которых не обходятся такие вот случайные пробы. Нейтрон был открыт всего за год до сдачи в печать статьи Бааде и Цвикки. Теории ядерных превращений практически не существовало. Идея Бааде и Цвикки, казалось бы, ни из чего не следовала – она выглядела, как чистая фантазия. Им пришлось преодолеть колоссальную психологическую инерцию коллег. Нужно было отойти от привычного представления о звездах. Нужно было придумать тела, совершенно необычные. Далее, нужно было выйти за пределы одного класса явлений. Шире посмотреть на предмет исследований: привлечь данные из теории звездной эволюции (в то время скудные и зачастую неверные), сведения о ядерных превращениях (известных довольно плохо) и так далее. Нужно было представить себе процесс образования нейтронной звезды, вообразить все следствия такой катастрофы, как взрыв сверхновой. Нужно было отрешиться от привычных представлений о звезде, как о статичном газовом шаре. И, наконец, нужно было представить возможные наблюдательные следствия – ведь нейтронные звезды предстояло искать, и нужно было знать, как они выглядят!

А как же классический метод проб и ошибок? Если бы Бааде и Цвикки действовали обычным образом, они непременно ошиблись бы. Ведь вероятность случайно сделать верную пробу, едва ступив на поле проб и ошибок, очень мала. Может быть, Бааде и Цвикки просто повезло?

Конечно, дело не в случае. Ясно, что к истине можно пробиться быстрее, если *систематически* пробовать все возможности. Не упуская ни одной. Истина будет обнаружена обязательно – вопрос во времени.

### **Морфологический метод**

В начале тридцатых годов прошлого века Цвикки придумал морфологический метод, названный им методом направленной интуиции. Метод, заставляющий исследователя видеть не только тот путь, что привычен, что перед глазами, но и все боковые ответвления, все возможные варианты.

Известен такой анекдот. Знаменитый немецкий микробиолог Р. Кох работал в своей лаборатории возле сосуда, окутанного паром и дымом. В комнату вошел помощник.

– Угадай, – обратился к нему Кох, – что здесь варится?

Ассистент перечислил все известные ему бактерии, но Кох отрицательно качал головой. Не дождавшись правильного ответа, он, смеясь, сказал:

– Да там же сосиски!

Вот прекрасный пример того, как психологическая инерция не позволяет разглядеть все в принципе возможные варианты явления. Метод, разработанный Цвикки, позволил это сделать. Цвикки предложил изображать на бумаге так называемые морфологические ящики – таблицы, где на одной оси записаны все основные параметры будущей теории (механизма, конструкции, явления), а на другой оси – все возможные значения этих параметров.

Работая над проблемой происхождения космических лучей, Цвикки только начинал размышлять о морфологическом методе, но и тогда сумел использовать направленную интуицию для предсказания нейтронных звезд. Много позднее он написал об этом в книге «Морфологическая астрономия», опубликованной в 1957 году. В 1971 году Цвикки был в Москве и рассказал об открытии нейтронных звезд на лекции в Московском университете:

«За основной параметр одной из осей морфологического ящика я взял характерные размеры звезды. Эти размеры являются комбинациями мировых постоянных: постоянной Планка, постоянной тяготения, скорости света, массы протона, а также массы и заряда электрона. Пусть самая большая из возможных комбинаций соответствует звездам-гигантам. Вторая комбинация постоянных меньше в 20 раз. Пусть она соответствует звездам-карликам, таким, как наше Солнце. Следующая характерная длина еще в тысячу раз меньше. В звездных масштабах она соответствует размерам белых карликов – около 10 тысяч

километров. Обычно все исследователи здесь и останавливаются. Но давайте отбросим инерцию. Нам нужно избавиться от психологической инерции в представлениях о размерах звезд. Пересилим себя и пойдем дальше. Очередное сочетание постоянных дает характерную длину в несколько сотен раз меньшую, чем предыдущая. Что это – звезда размером в несколько километров?! Первое, что хочется сказать, – это невозможно! Но мы должны заставить себя забыть это слово. Пусть возможно. Что это за звезда? Подсчитаем ее плотность. Разделим массу, равную массе Солнца, на объем шара радиусом в один километр. Получим невероятное значение: 100 миллиардов тонн в кубическом сантиметре! Обычное вещество из атомных ядер и электронов при такой плотности существовать не может – не позволяют электрические силы отталкивания. Нужны нейтральные частицы. Мы их знаем – это нейтроны. Звезда состоит из нейтронов, тесно прижатых друг к другу. Но для того, чтобы сжать звезду до такой огромной плотности, возражает психологическая инерция, нужно совершить колоссальную работу против сил тяжести, скомпенсировать потенциальную энергию тяготения. Для нейтронной звезды величина этой потенциальной энергии около  $10^{53}$  эрг. Но... ведь как раз такая энергия выделяется при взрыве сверхновой! Вот и решение. Да, нейтронные звезды могут существовать. Более того, *никакие другие* звезды, кроме нейтронных (гиганты, обычные и белые карлики), не могут объяснить такого огромного выделения энергии во вспышке. Отлично. Теперь можно остановиться, продумать эту идею, полученную методом направленной интуиции. Но... разве уже все ячейки заполнены? Есть еще одна характерная длина, еще одна комбинация мировых постоянных – на восемнадцать порядков меньше предыдущей длины! Этой длине соответствует звезда с радиусом...  $10^{-13}$  сантиметров. Размер электрона. Звезда, сжатая почти в точку. Да можно ли назвать такие объекты звездами? Если и звездами, то поистине адскими...»

В книге «Морфологическая астрономия» Цвикки писал об адских звездах, а в МГУ рассказал. Сейчас мы знаем, что действительно существуют безгранично сжимающиеся звезды – черные дыры. Название, придуманное Уилером несколько лет спустя, оказалось ненамного экзотичнее придуманного Цвикки.

Впрочем, в статье 1934 года об адских звездах речи не было. Видимо, мало сказать: давайте забудем о психологической инерции. Даже метод направленной интуиции, хотя и ослабляет инерцию мысли систематическим перебором вариантов, все же не гасит ее окончательно. И шага от нейтронных звезд к адским в работе 1934 года Цвикки не сделал. Впрочем, можно лишь сказать: в статье Бааде и Цвикки не было ни слова об адских звездах – но ведь и статья была посвящена вовсе не достоинствам морфологического метода, а решению конкретной задачи о происхождении космических лучей. И задачу эту авторы решили с блеском. Может, Цвикки уже тогда думал не только о нейтронных, но и об адских звездах – теперь это уже не узнать...

Таким было первое применение морфологического анализа. Даже в простейшем «ящике», содержавшем всего одну ось, уже нашлись два верных предсказания. Два открытия. А если бы Бааде и Цвикки действовали методом проб и ошибок?

Приведу прекрасный пример сочетания метода проб и ошибок с психологической инерцией. Всем известен закон Кеплера: планеты движутся по эллипсам, причем в одном из фокусов эллипса находится Солнце. Кеплер был великим тружеником и одним из самых незаурядных умов своего времени. Чтобы быть в то время сторонником Коперника, требовалось немалое мужество. Да, Кеплер был смел, но все же не мог отрешиться от инерции, происходившей из его эстетических представлений о природе. Природа, как полагал Кеплер, стремится к гармонии (точнее – Бог, создавший природу, создал ее, несомненно, гармоничной). Поэтому и планеты *должны* обращаться вокруг Солнца, описывая самые гармоничные из фигур – окружности.

Отойти от этого представления Кеплер не мог в течение многих лет. Описывая планетные орбиты, он перебрал *все* возможные комбинации окружностей и сфер. Но согласия с наблюдениями не получил и понял, что никакие сочетания окружностей не могут объяснить расхождения в восемь угловых минут между предсказанным и наблюдаемым движением

Марса. Кеплер не сразу вышел на верную дорогу. Вряд ли кто-нибудь иной на его месте отказался бы от идеи окружности, вряд ли кто-нибудь еще осмелился бы начать поиск в ином направлении. Галилей ведь до конца жизни так и не принял идею Кеплера о том, что орбиты планет отличаются от круговых! Кеплер все-таки переступил через внутренний запрет. Если бы он знал морфологический метод, то сразу построил бы (ведь инерция ему уже не мешала!) ось возможных геометрических фигур, не обладающих углами, среди них был бы и эллипс. Но Кеплер пробовал и, естественно, ошибался. Сначала он решил, что планеты движутся вокруг Солнца по овалу, похожему на яйцо. И лишь убедившись в очередной ошибке, обратил внимание на эллипс.

Что ж, возможно, морфологический анализ является шагом вперед в научной методологии по сравнению с классическим методом проб и ошибок. Но не преувеличиваем ли мы возможности направленной интуиции? Разве Цвикки открыл нейтронные звезды? Предсказал их открытие – так будет точнее. Впрочем, и здесь возникают сомнения: разве можно предсказать открытие?

А получение закономерности – не открытие? Разве мы не говорим, что Ньютон открыл закон всемирного тяготения, а Кеплер – законы движения планет?

### Открытия и изобретения в науке

Чтобы в дальнейшем не возникало путаницы, внесем ясность. В Положении об открытиях говорится: «Открытием признается установление не известных ранее объективно существующих закономерностей, свойств и явлений материального мира».

Речь идет, таким образом, о выявлении неизвестного прежде явления или закона природы. Гипотеза, пусть и оправдавшаяся, не в счет, это не открытие. В счет пойдет эксперимент, который гипотезу подтвердит. Поэтому Цвикки, конечно, не получил диплома на открытие нейтронных звезд. Он высказал идею, которая оказалась верной. Открытие – это нечто другое.

Явление радиоактивности, к примеру, было открыто А. Беккерелем в 1896 году. Это открытие экспериментальное: такие открытия могут быть следствием настойчивого поиска, но очень часто совершаются (как в случае Беккереля) вдруг, неожиданно, случайно. Возможны открытия теоретические: они неожиданными не бывают. Это всегда плоды упорного труда.

В дальнейшем мы будем называть открытиями лишь то, что обнаруживает наблюдатель или экспериментатор. Открыть можно факт, явление, процесс в материальном мире, регистрируемый прибором и (или) нашими органами чувств. А объяснение явления, факта, закон природы открыть нельзя – это плоды творческого воображения. Можно открыть, что существуют силы притяжения между всеми телами в той или иной области Вселенной. Для расчета же действия этой силы Ньютон *изобрел* способ выражения ее в виде формулы. Поэтому в дальнейшем теоретические открытия мы будем называть научными изобретениями. Такое название лучше отражает их суть. В том же Положении сказано: «Изобретением признается отличающееся новизной решение технической задачи».

По-видимому, открытия и научные изобретения можно предвидеть. Более того, можно научиться делать такие предсказания систематически. Первое приближение – метод направленной интуиции, морфологический анализ.

Конечно, такое предположение нуждается в аргументации. Разве можно было с помощью морфологического анализа, пользуясь законами физики, известными в конце XIX века, предсказать радиоактивность? Но разве Беккерель пробовал и ошибался? Он совершенно случайно обнаружил почернение фотопластинки, лежавшей поблизости от солей радия.

А постоянство скорости света? Разве можно было предвидеть результат опыта Майкельсона?

Попробуем доказать, что можно было предвидеть любой результат этого опыта, в том числе и правильный. И именно с помощью морфологического анализа.

## Морфологические таблицы

Построим морфологическую таблицу для объекта «свет». О каких свойствах света знал Майкельсон? Он знал, что свет (электромагнитная волна) обладает энергией, скоростью... Собственно, именно скорость его интересовала. Построим эту единственную ось. Вот варианты. Скорость света постоянна в данной системе отсчета. Скорость света переменна в данной системе отсчета. Но систем отсчета две: одну Майкельсон связал с Землей, другую – с гипотетическим эфиром. Какие возникают варианты? Скорость света разная в двух системах. Скорость одинакова в обеих системах. Скорость переменная в одной системе и постоянная в другой. Скорость переменная в обеих системах. Есть еще варианты? Кажется, нет. Вы заметили среди перечисленных вариантов постулат Эйнштейна: скорость света одинакова в обеих системах отсчета?

Однако не будем преувеличивать. Такой анализ позволяет лишь поставить задачу о предсказании открытия. А задачу-то нужно еще решить. Кроме того, в реальных задачах вариантов не два, не три, а десятки и сотни, и перебор их, даже систематический, может отнять много времени и сил. Наконец, заранее неизвестно, в какой именно ячейке морфологической таблицы находится искомое предсказание. Шесть принципиально возможных результатов опыта Майкельсона можно было предвидеть с помощью морфологического анализа. И лишь один из шести мог оказаться и оказался верным. Но могли Майкельсон заранее сказать – какой именно?..

Вернемся к расследованию гибели звезд. Построим морфологическую таблицу «Вспышки в космосе». Таблицу *перед* входом в теорию, то есть таблицу, позволяющую находить верные интерпретации уже обнаруженного явления, позволяющую делать научные изобретения. Вертикальная ось – характеристика явления. Горизонтальная – возможные варианты характеристик.

Фрагмент морфологической таблицы «Вспышки в космосе»

		1	2	3	4	5	6	7	8
А	Объект до вспышки	газ	пыль	метеоры	планета	звезда	система звезд	тело неизв. природы	
Б	Объект, вызвавший вспышку	газ	пыль	метеоры	планета	та же звезда	другая звезда	система звезд	тело неизв. природы
В	Объект после вспышки	газ	пыль	метеоры	планета	та же звезда	изменившаяся звезда	система звезд	тело неизв. природы
Г	Какая энергия переходит в энергию вспышки	гравитационная	механическая	электрическая	магнитная	тепловая	энергия вырождения	ядерная	химическая
Д	Какая энергия выделяется во вспышке	гравитационная	механическая	электрическая	магнитная	тепловая	энергия вырождения	ядерная	химическая
Е	Тип взаимодействия между объектами	нет	гравитационное	электрическое	магнитное	сильное	слабое	механическое	
Ж	Характер взаимодействия во времени	нет	временный	связь лишь при вспышках	постоянная	переменная			
З	Повторяемость вспышек	нет	регулярная	нерегулярная	серия вспышек				
И	Длительность вспышки	$10^{-3}$ с	1 секунда	1 минута	1 час	1 день	1 месяц	1 год	10 лет



К	Амплитуда вспышки	2 раза	2-10 раз	10-100 раз	100-10 <sup>3</sup> Раз	10 <sup>3</sup> -10 <sup>4</sup> раз	10 <sup>4</sup> -10 <sup>5</sup> раз	> 10 <sup>5</sup> раз	∞
---	----------------------	--------	----------	---------------	----------------------------	---	---	--------------------------	---

Обратите внимание на сочетание клеток А5-Б6-В5-Г7-Д5-Е2-Ж4-З2-И6-К4. Что это напоминает? Конечно, идею Шацмана о вспышках новых звезд!

А такое сочетание: А5-Б1-В5-Г2-Д5-Е7-Ж3-З1-И6-К4? Это идея Зеелигера о разогреве звезды, пролетающей сквозь газовую туманность.

Попробуйте отыскать теперь в этой таблице *все* гипотезы о взрывах новых звезд, рассмотренные в первой главе. А заодно и гипотезы о взрывах сверхновых – в таблице есть и такие. Вот только какие из гипотез правильны?..

Таблица, которая была сейчас построена, это таблица *перед входом* в теорию. Но морфологический анализ можно провести и *на выходе* из теории. В первой таблице содержатся потенциальные научные изобретения, во второй – потенциальные открытия. Таблица, которую построил Цвикки для звезд, – второго типа.

Морфологический анализ в его сегодняшней форме – это лишь первая попытка модернизировать творческий труд ученого. Попытка систематизации – не больше. Главный недостаток метода – он оставляет на волю случая выбор правильной идеи. Для того, чтобы найти верное решение, нужно рассмотреть и исследовать все клетки. И еще. Конструирование морфологических таблиц, конечно, расковывает фантазию, расшатывает психологическую инерцию, но ненамного. Все равно нет гарантии, что *все* поле проб и ошибок окажется покрыто сетью клеток. Правда, исследователю уже не приходится хаотически метаться, хватаясь за ближайшее решение и восклицая «а если!». Но, возможно, при систематическом переборе вариантов исследователь все же упустит золотую рыбку-открытие из своей сети, потому что сделал сеть короче и уже, чем было нужно.

Кроме того, не нужно недооценивать и роль случая. А она огромна! Делая теоретическое предсказание, нельзя знать точно, осуществится ли оно, как нельзя утверждать наверняка, что построенная морфологическая таблица охватывает все свойства явления. Хороший тому пример – открытие Плутона, карликовой планеты, которая три четверти века «незаконно» считалась принадлежащей к семье планет Солнечной системы.

Помните, как был открыт Нептун? Леверье и независимо от него Адамс рассчитали, где на небесной сфере должна находиться планета, тяготение которой вносит возмущения в движение Урана. Именно в этой точке Нептун и был обнаружен. Открытие было четко предсказано, и Леверье с Адамсом по праву считаются его авторами. Но все же притяжение Нептуна не смогло полностью объяснить все аномалии в движении Урана. И тогда была выдвинута гипотеза – за орбитой Нептуна находится еще одна планета. В 1915 году Ловелл закончил необходимые расчеты и доложил на заседании Американской академии искусств и наук о том, где нужно искать планету Икс. После тщательных поисков планета была открыта. Это произошло 13 марта 1930 года – сотрудник Ловелловской обсерватории К. Томбо обнаружил планету Икс именно там, где предсказал Ловелл. Значит, именно Ловелл открыл Плутон на кончике пера? Вроде бы так.

Однако, когда измерили массу Плутона, оказалось, что она меньше той, что предполагал Ловелл (настолько меньше, что в 2006 году Плутону вообще было отказано в праве называться планетой – теперь это «карликовая планета», и не более того). Плутон двигался совершенно не по той орбите, что была для него рассчитана. Расчеты были формально правильны, ошибка содержалась в начальных условиях: Ловелл подставил неправильную массу! Но ведь Плутон-то был найден там, где и было предсказано...

Ученым пришлось признать, что произошло событие, немыслимое с точки зрения теории вероятностей. Его Величество Случай. Плутон совершенно случайно оказался на небе вблизи от точки, рассчитанной Ловеллом.

Вернемся к теме нашего «расследования». Приведу еще один пример игры случая – Крабовидную туманность. С ней связаны радикальные астрономические открытия XX века. Среди остатков вспышек сверхновых – это уникальнейший объект. Если бы Крабовидная туманность не была столь уникальна, развитие астрофизики в последние десятилетия могло

пойти немного иначе. И самое удивительное заключается в том, что уникальная эта туманность находится по астрономическим понятиям неподалеку от Солнца – в двух тысячах парсек. Вероятность такого соседства мала – и все-таки Крабовидная туманность рядом.

Вот и с Плутоном произошла такая удивительная и непредсказуемая случайность...

Итак, наше «расследование» продолжается. Мы узнали, что существуют сверхновые: катастрофические звездные вспышки, в результате которых звезды погибают. Мы узнали о том, что на месте вспышки звезды-гостя 1054 года возникла Крабовидная туманность – расширяющееся газовое облако. Обсудили идею Бааде и Цвикки о нейтронных звездах и метод, с помощью которого эта идея была получена. Но действительно ли нейтронная звезда – именно тот объект, который можно назвать «трупом» погибшей звезды?

### Глава третья От белых карликов к релятивистским звездам

*Ум человеческий имеет три ключа,  
все открывающих: знание, мысль,  
воображение – все в этом.  
В. Гюго*

#### Белые карлики

Бааде и Цвикки сделали важное предсказание. Что же за этим последовало? Много лет спустя, выступая на международном совещании по сверхновым звездам, Цвикки с горечью вспоминал:

«Генри Норрис Рассел, работавший на Маунт Вильсон, убеждал меня и тогда и потом, что взрывные процессы со сжатием слишком уж причудливы и не играют роли в эволюции вещества во Вселенной. Эддингтон в 1930 году, когда я читал лекции в Кембридже, говорил то же самое».

Астрономам сверхплотные звезды казались причудливыми образованиями, астрономы *не нуждались* в экстравагантных и, к тому же, ненаблюдаемых небесных телах для объяснения наблюдаемых явлений. Были известны плотные звезды – белые карлики. Белые карлики можно было наблюдать в телескопы. А в существование нейтронных звезд верили только Бааде и Цвикки. Верили, потому что их подход к проблеме вспышек сверхновых звезд отличался большой широтой. Остальные астрономы (и даже такой выдающийся ученый, как сэр А. Эддингтон) считали, что белые карлики – самые компактные объекты во Вселенной. Известные в то время свойства белых карликов хорошо согласовывались и с теоретическими представлениями об эволюции звезд. Открытие белых карликов – успех наблюдательной астрономии, и это тоже важно иметь в виду.

А открыты были белые карлики так. Ф. Бессель, работавший в Кенигсбергской обсерватории, в 1844 году исследовал, как перемещается по небу Сириус, ярчайшая звезда северного неба. Оказалось, что движется Сириус не по прямой, а по странной волнистой линии. У Бесселя не было причин сомневаться в законах Ньютона. Если небесное тело не движется по прямой, значит, на него действует внешняя сила. Единственная сила, влияющая на движение небесных тел, – сила тяготения. Значит, Сириус притягивается каким-то другим телом, находящимся поблизости от него. Поскольку траектория движения Сириуса подобна синусоиде, значит, невидимое тело постоянно находится около звезды, то с одной, то с другой стороны. Иными словами, невидимое тело обращается вокруг Сириуса, заставляя и его описывать кривую линию. Бессель сказал: Сириус – это двойная система. Спутник его излучает очень мало света и потому невидим.

Здесь тоже, заметьте, был вопрос *доверия*. Бессель, как и все астрономы, безгранично верил в справедливость законов Ньютона. Поэтому наличие невидимой звезды в системе

Сириуса представлялось ему *несомненным*. А нейтронные звезды, хотя и не противоречили известным законам физики, были лишь нововведением, не освященным вековыми традициями. Еще не были известны многие свойства недавно открытого нейтрона, а Бааде с Цвикки уже заговорили о нейтронных звездах!

В 1863 году американский астроном А. Кларк, испытывая новый объектив для телескопа, заметил около Сириуса слабую звездочку. Провели наблюдения, и выяснилось, что звездочка и Сириус обращаются вокруг общего для них центра масс, совершая полный оборот за 50 лет. Но загадка Сириуса В в то время еще не возникла. Лишь в 1914 году У. Адамсу удалось получить спектр Сириуса В, и тогда обнаружилось, что температура на поверхности этой слабенькой звездочки вдвое выше, чем температура на поверхности Солнца. Что же получается? Количество энергии, излучаемой нагретым шаром (звездой), пропорционально четвертой степени температуры и квадрату радиуса звезды. Если бы Сириус В по размерам был подобен Солнцу, то должен был излучать в  $2^4 = 16$  раз больше, чем наше дневное светило. А он излучает значительно меньше Солнца. Значит, Сириус В должен иметь соответственно значительно меньшие размеры. Радиус его должен составлять около 10 тысяч километров – ненамного больше радиуса Земли!

Это был *наблюдательный* факт, и все равно астрономы поверили в него не сразу. Эддингтон писал в книге «Звезды и атомы», опубликованной в 1927 году:

«Сообщение спутника Сириуса после его расшифровки гласило: «Я состою из вещества, плотность которого в 3000 раз выше, чем все, с чем вам когда-нибудь приходилось иметь дело; тонна моего вещества – это маленький кусочек, который уместится в спичечной коробке». Что можно сказать в ответ на такое послание? В 1914 году большинство из нас ответило так: «Полно! Не болтай глупостей!»

Но с наблюдениями не поспоришь. С существованием в природе белых карликов пришлось смириться. Сначала их приняли как факт, и лишь полтора десятилетия спустя поняли, почему белые карлики имеют такие маленькие размеры и такую большую плотность. Первым об этом написал английский астрофизик А. Милн в 1930 году. В белых карликах, утверждал он, находится вырожденное вещество.

Что это значит?

### **Вырожденные звезды**

Любая звезда находится в равновесии, потому что в ней противоборствуют две равно могучие силы. Все частицы вещества притягиваются друг к другу – действуют силы тяжести. Тяготение стремится сжать звезду. Но звезда горяча. Частицы в ней хаотически движутся, создавая газовое давление. Давление газа стремится звезду раздуть. Температура на поверхности Солнца достигает 6 тысяч, а в недрах – до 20 миллионов градусов! Обычное газовое давление тем больше, чем выше температура. В нормальных звездах, подобных Солнцу, давление газа способно уравновесить силу тяжести в любой точке звезды. Будь звезда чуть-чуть горячее, она стала бы расширяться (газовое давление оказалось бы больше, чем сила тяжести), но при расширении она стала бы остывать, как и положено газу. Давление упало бы, и расширение прекратилось. В стационарных звездах обе силы находятся в строгом равновесии друг с другом.

Но если сила тяжести существует в звезде всегда, то этого нельзя сказать о газовом давлении. Ведь для того чтобы газ был нагрет, нужна какая-то причина, какая-то, грубо говоря, «печка». Что же поддерживает температуру звезды? Таким был главный вопрос астрофизики: почему звезды светят? Гипотез по этому поводу выдвигалось много. Лишь в тридцатые годы XX века проблема стала проясняться – были открыты ядерные превращения. Между прочим, тогда выяснилось, что о возможности черпать энергию нагрева звезды из ядерных реакций (например, из слияния водорода в гелий) писал еще в 1919 году Р. Аткинсон. Но, естественно, тогда эта работа никакого впечатления не произвела.

Однако какими бы ни были источники нагрева звезды, они должны себя, в конце концов, исчерпать. Что случится со звездой после этого? Звезда остынет, как печка без дров, и газовое давление уменьшится. Но тогда сила тяжести начнет сжимать звезду. До каких пор?

Одно из двух. Либо отыщется другой вид давления, отличный от обычного газового, и сжатие будет остановлено, либо... Либо такого давления не найдется, и звезда будет сжиматься бесконечно! До появления квантовой механики астрономы не знали другого давления, кроме давления нагретого газа. Квантовая механика позволила сделать шаг вперед. Оказалось, что даже абсолютно холодный газ (нуль градусов по шкале Кельвина!) обладает вполне определенным остаточным давлением, причем настолько большим, что оно способно остановить сжатие звезды. Дело в том, что в квантовой механике существуют два сорта элементарных частиц, различных по своим характеристикам. Поскольку в микромире все свойства меняются не непрерывно, а порциями, квантами, то и вращение элементарных частиц тоже описывается не угловой скоростью, а дискретным квантовым числом – спином. Спин частицы может быть целым (0, 1, 2 и т.д.) или полуцелым (1/2, 3/2 и т.д.). Поведение частицы зависит от того, целый у нее спин или полуцелый. Еще в начале двадцатых годов прошлого века, когда квантовая механика только начиналась как научная дисциплина, индийский физик Бозе (а затем Эйнштейн) описал поведение частиц, обладающих целым спином. Такие частицы были названы бозонами. А поведение частиц с полуцелым спином описывается квантовой статистикой, созданной Ферми и Дираком и названной их именами. Сами же частицы называют фермионами. Бозонами являются фотоны и нейтрино (тогда еще не открытое). А протон, электрон, нейтрон (тогда еще тоже не обнаруженный) являются фермионами.

В квантовой механике существует принцип Паули, который гласит: в одном и том же квантовом состоянии не могут находиться сразу две (и больше) частицы с полуцелым спином. Фермионы не могут обладать одинаковыми энергиями или импульсами!

А теперь заглянем внутрь звезды. Источники нагрева исчерпаны, звезда остывает. Представим, что она совсем остыла – температура ее стала равной абсолютному нулю. Естественно, что вся тепловая энергия частиц (энергия их хаотического движения) тоже исчезла. Нет хаотического движения, нет и давления. Ничто не противостоит тяжести, стремящейся сжать звезду. Ничто ли? Звезда ведь состоит из атомных ядер, протонов, электронов, нейтронов (не забудем, что нейтроны тогда еще не были открыты), в общем – из фермионов. И значит, в остывшей звезде действует квантовая статистика Ферми-Дирака, действует принцип Паули. Две частицы не могут обладать одинаковыми импульсами! Когда мы говорим, что в абсолютно холодной звезде прекращается всякое движение, это справедливо только для одной-единственной частицы. Одна частица действительно обладает нулевым импульсом. Но именно поэтому любая другая частица должна иметь импульс, отличный от нуля (действует принцип Паули!). Третья частица должна иметь еще больший импульс и так далее.

В звезде колоссальное число частиц (в Солнце их около  $10^{57}$ ). И как бы мало ни отличались импульсы частиц друг от друга, все же импульс самой энергичной из них окажется огромным. Но если есть импульс, то есть и давление. Если импульс частиц может оказаться большим, то велико может быть и давление. Импульс самой быстрой частицы в такой системе называется граничным Ферми-импульсом, а описанный нами газ называется вырожденным Ферми-газом. Если такой газ нагревать, то вырождение исчезает – частицы приобретают хаотическое тепловое движение, освобождают уровни, на которых находились раньше, все больше и больше увеличивая свои импульсы...

Итак, остывая, звезда сжимается. Частицы все сильнее прижимаются друг к другу. Частиц очень много, граничный Ферми-импульс очень велик. Наступает вырождение – давление вырожденного газа становится больше, чем обычное тепловое давление. А если сжатие продолжается, то давление вырожденного газа способно даже уравновесить силу тяжести!

Теория вырожденных звезд была строго развита в 1931 году индийским астрофизиком С. Чандрасекхаром. В статье «Сильно сжатая конфигурация звездной массы» он описал звезду

из вырожденного газа протонов и электронов. Оказалось, что открытые почти сто лет назад белые карлики прекрасно описываются законами квантовой механики, законами статистики Ферми-Дирака. В белых карликах давление вырожденного газа как раз таково, что уравнивает силу тяжести. Плотность вещества в белых карликах ( $1 \text{ т/см}^3$ ) достаточна для создания нужного давления. Наконец, размеры звезд (10000 км) достаточны для создания нужной плотности. Все прекрасно сходилось! Конечно же, температура белых карликов, наблюдаемых в телескопы, не равна абсолютному нулю. Спутник Сириуса нагрет до 10 тысяч градусов. Но что значит тепловая энергия, соответствующая этой температуре, по сравнению с энергией вырождения? Капля в море... Поэтому строение белых карликов хорошо описывается уравнениями, выведенными для абсолютно холодного вещества.

И еще один очень важный вывод сделал Чандрасекхар. Дело в том, что давление вырожденного газа из протонов и электронов тоже не может расти бесконечно. Наступит момент, когда и оно не сможет противостоять тяжести. Для этого нужно, чтобы тяжесть превысила некоторый предел. А для этого, в свою очередь, нужно, чтобы масса звезды была больше некоторого критического значения – ведь именно масса звезды и создает силу притяжения! Вывод: должна существовать предельная масса белого карлика.

Чандрасекхар рассчитал величину этой предельной массы. Она оказалась равной 1,4 массы Солнца в том случае, если белый карлик состоит из гелия. Впоследствии эта величина была пересчитана с учетом эффектов общей теории относительности, и было получено значение 1,2 массы Солнца для вероятной предельной массы белого карлика.

Работа Чандрасекхара произвела огромное впечатление – она объясняла существование наблюдаемого класса звезд, она определяла этим звездам место в общем ряду. Белые карлики, как следовало из работы Чандрасекхара, – это звезды после исчерпания источников энергии (правда, никто в то время не знал, что это за источники). Белые карлики – конечная стадия жизни звезд. *Всех* звезд – к такому выводу пришли астрофизики.

Казалось бы, здесь возникает противоречие. Белый карлик не может быть более массивен, чем 1,4 массы Солнца (или 1,2, с учетом эффектов теории относительности). Но ведь и в двадцатые годы прошлого века астрономы знали, что есть гораздо более массивные звезды. Десять, двадцать масс Солнца. Что делать с ними? Они-то, видимо, не смогут стать белыми карликами?

Астрономы считали, что смогут! Ничего не зная об источниках звездной энергии, они все же выдвигали гипотезы о том, как звезды эволюционируют. Когда вышла из печати статья Чандрасекхара, популярной была гипотеза (ошибочная!) о том, что все звезды рождаются голубыми гигантами большой массы. Постепенно они остывают, светимость их падает, они становятся красными карликами, а потом... А потом белыми. Но масса красного карлика (и тем более – белого) значительно меньше массы голубого гиганта. Отсюда был сделан вывод: эволюционируя, звезды все время теряют свою массу в космическое пространство. В конце жизненного пути *любая* звезда потеряет ровно столько вещества, сколько нужно, чтобы ничто уже не помешало ей превратиться в белый карлик.

Так, казалось бы, наблюдательный факт (существование звезд разных масс) был состыкован с интерпретацией (звезды теряют вещество) и с теоретическими исследованиями (предельная масса белого карлика). Нуждались ли при этом астрофизики в звездах, которых никто никогда не видел? Если у вас есть удобно сшитое пальто, станете ли вы пришивать к нему третий рукав? Нет, конечно. Поэтому реакция коллег на предсказание Цвикки была вполне объяснима. Правда, на небосклоне астрофизики, как в свое время на физическом небосклоне, виднелось серое облачко – так и не объясненные сверхновые звезды. Но разве физики конца XIX века обращали на свои облачка особое внимание? Нет. Астрофизики в первой трети XX века были не более прозорливы...

Теперь, разобравшись в том, какую роль сыграли белые карлики, вернемся к нейтронным звездам.

## Эффекты теории относительности

Сделаем еще одно отступление в прошлое – в XIX век. В век торжества ньютоновской теории тяготения. Помните, как Леверье на «кончике пера» открыл Нептун? Нужно ли было более надежное доказательство ньютоновской теории? Однако... Движения планет все же чуть-чуть отличались от рассчитанных по законам Ньютона и Кеплера. Особенно вызывающим было поведение Меркурия. Положение его перигелия (ближайшей к Солнцу точки орбиты) отклонялось от предвычисленного на 43 угловые секунды в столетие. Делались, конечно, попытки объяснить этот феномен. Появилось множество гипотез, из которых до нас дошли единицы, да и то чтобы украсить кунсткамеру научных ошибок. Сначала ученые вводили в Солнечную систему невидимые массы, отклонявшие планеты с их курсов. Но это не помогло. И тогда были сделаны отчаянные попытки спасти закон тяготения Ньютона, модернизируя его формулу.

Кроме таких, чисто эмпирических трудностей, были сложности, о которых физики знали еще во времена Ньютона. Кого, например, могла в конце XIX века удовлетворить идея о том, что тяготение распространяется мгновенно? А если не мгновенно, то с какой скоростью? И наконец, без ответа оставался главный вопрос: почему тела притягивают друг друга? В чем причина тяготения?

Так что, когда Эйнштейн, создав частную теорию относительности, занялся теорией тяготения, это не было прихотью гения. Вопрос назрел. Со времен Ньютона физики знали, что вес тела пропорционален его массе. Знали, что существуют два типа массы – тяготеющая и инертная. Тяготеющая масса – это масса, которую нужно подставить в формулу закона всемирного тяготения, чтобы рассчитать силу тяжести. Инертная масса – это масса, которую нужно подставить в формулу второго закона Ньютона, чтобы рассчитать ускорение движения тела под действием внешней силы. Физики знали, что эти массы численно равны друг другу. Эйнштейн сделал шаг, который нам сейчас может показаться маленьким, но произвел переворот в умах. Помните, что сказал Н. Армстронг, ступив на поверхность Луны? «Маленький шаг человека – большой шаг всего человечества». Эти «маленькие» шаги, преобразующие мир, сделать труднее всего. Эйнштейн был первым, кто твердо сказал: тяготеющая и инертная массы не просто численно равны, они одно и то же. И это утверждение, названное принципом эквивалентности, послужило опорой для создания самой совершенной физической теории XX века: общей теории относительности.

Эйнштейн доказал, что перигелий Меркурия *должен* перемещаться именно на 43 угловые секунды в столетие. Кроме того, из общей теории относительности следовало, что луч света, который прежде считался движущимся только прямолинейно (в пустоте) *должен* отклоняться от своей прямой траектории в поле тяжести. Ведь фотон, квант света – материальная частица, он так же, как любое другое тело, должен подчиняться закону тяготения. Никто не знал, чему равна масса фотона (Эйнштейн нашел, что фотон существует только в движении, он не может быть неподвижен ни в какой системе отсчета, его масса покоя равна нулю), но физики знали, как измерить его энергию. А из принципа эквивалентности следовало, что и энергия тела соответствует вполне определенной массе – вспомните знаменитую формулу  $E = M \times c^2$ ! И значит, луч света должен, как обыкновенный камень, двигаться в поле тяжести по кривой линии, которую можно рассчитать. Это следствие из теории тяготения, в отличие от первого, предстояло еще доказать на опыте. И третье следствие тоже. Заключалось третье следствие вот в чем. Если подбросить вверх камень, то он будет лететь все медленнее, его кинетическая энергия будет расходоваться на преодоление пут тяготения. В конце концов, она истратится вся, камень на мгновение остановится и начнет падать. Луч света, испущенный вверх, против силы тяжести, тоже должен, удаляясь от тяготеющего тела, терять свою энергию. Но тормозить свое движение фотон не может – ведь скорость света есть величина постоянная. Фотон, в отличие от камня, теряет энергию иначе – он «краснеет». Ведь природа фотона двойственна – свет представляет собой одновременно частиц (фотон) и волну (электромагнитное поле).

Согласно теории квантов (тоже созданной Эйнштейном в 1905 году), энергия фотона пропорциональна соответствующей частоте электромагнитного поля. Меньше энергия – меньше частота. Частота – это цвет. Значит, цвет луча света меняется. Из голубого луч становится красным, причем тем больше, чем более сильное поле тяжести ему приходится преодолевать. Этот эффект называется гравитационным красным смещением.

В 1919 году Эддингтон, наблюдая солнечное затмение, обнаружил, что звезды около затемненного Луной края солнечного диска сместились со своих мест. Это означало, что луч света от далекой звезды, проходя по пути к Земле рядом с Солнцем, отклонялся от прямолинейной траектории. Измеренный эффект смещения практически точно совпал с предсказанным.

А пять лет спустя тот же Эддингтон выдвинул предположение о том, что спектральные линии элементов в спектрах белых карликов должны быть смещены в красную сторону. Ведь белые карлики – самые компактные из звезд. Поле тяжести на их поверхности в миллион раз больше, чем на поверхности Земли! Значит, и красное смещение света, испущенного белым карликом, должно быть самым большим из возможных. Эддингтон вычислил, на сколько именно должны смещаться в красную сторону спектральные линии. В том же 1924 году он наблюдал спектры белого карлика Сириус В и обнаружил предсказанное красное смещение – именно такое, какое следовало из теории.

Размер белого карлика 10 тысяч километров, и для описания природы этих звезд уже нужно учитывать эффекты общей теории относительности. Оказывается, без них нельзя точно рассчитать ни предельную массу белого карлика, ни смещение линий в его спектре. Что же тогда говорить о нейтронной звезде, размер которой, если верить предсказаниям Цвикки, еще в сотни раз меньше! Тогда и поле тяжести на поверхности нейтронной звезды должно быть в сотни раз больше! Значит, и эффекты общей теории относительности должны играть весьма существенную, а может, и вовсе определяющую роль.

Посмотрим, так ли это. Чем ближе скорость движения тела к скорости света, тем больше влияние эффектов теории относительности. Так и здесь. Характеристикой величины поля тяжести может служить вторая космическая скорость (скорость убегания). Чем больше сила тяжести, тем большую скорость должно иметь тело, чтобы улететь в космос. Чтобы ракета навсегда покинула Землю, нужно разогнать ее до 11 км/сек. Чтобы улететь в космос с поверхности Солнца, нужно развить скорость 600 км/сек. Чтобы разорвать пути тяжести белого карлика, необходима скорость 5 тысяч км/сек. Все больше и больше! Заметьте, что в белом карлике эффекты общей теории относительности уже ощутимы. А чтобы покинуть нейтронную звезду, нужно разогнаться до скорости 100 тысяч км/сек! Всего втрое меньше скорости света. Если бы размер нейтронной звезды был втрое меньше, то скорость убегания с ее поверхности сравнялась бы со скоростью света. Улететь с поверхности нейтронной звезды стало бы просто невозможно...

Впрочем, последнее рассуждение не имеет отношения к нейтронным звездам. Нейтронная звезда в принципе не может иметь таких маленьких размеров – позднее мы еще вернемся к этому. Но само рассуждение безупречно и пришло в голову английскому физику Дж. Мичеллу еще в XVIII веке. Спустя несколько лет после Мичелла о том же писал и великий Лаплас. Он утверждал, что, если свет распространяется не бесконечно быстро, то можно найти небесное тело, с поверхности которого свет не сможет улететь, потому что скорость убегания окажется больше световой. Такое тело невозможно обнаружить, потому что оно в принципе ничего не излучает.

Телами-невидимками являются, например, гипотетические «адские звезды» Цвикки. Размеры «адских звезд» должны быть меньше размеров атома, и это при массе, равной солнечной! Если бы подобные звезды могли существовать, то для них скорость убегания превышала бы скорость света в миллионы раз. Но дело-то в том, что «адские звезды», согласно общей теории относительности, не могут в принципе существовать как стабильные объекты. Однако об этом тоже немного позже...

## Что такое гравитационный радиус?

Эйнштейн завершил разработку своей теории гравитации в 1916 году. Он сконструировал такие уравнения полей тяжести, которые сводились к обычному ньютоновскому закону всемирного тяготения, если поля слабы. Но что значит – слабы или сильны? Это лишь слова, а чтобы придать им физический смысл, нужно описать величину поля каким-то числом. Скажем, так: если поле тяжести больше некоторого «икс», то оно считается сильным, а если меньше, то – слабым. Таким пробным камнем для теории тяготения и стала проблема поля тяготения звезды. В 1916 году немецкий астроном К. Шварцшильд, прочитав только что опубликованную работу Эйнштейна, решил так преобразовать уравнения общей теории относительности, чтобы с их помощью можно было бы описать гравитационное поле звезды, то есть, поле тяжести вне некоторого сферического тела. Лишь бы только это тело не вращалось.

Шварцшильд вывел формулу, по которой можно было рассчитать критическое значение размеров звезды, при которых поле тяжести можно назвать сверхсильным. Случайно математическое выражение этой величины оказалось в точности таким, какое получил Лаплас для радиуса своей гипотетической невидимой звезды.

И тогда выяснилась странная вещь. В уравнении оказалась, как говорят математики, сингулярность. То есть, область, в которой поле тяжести обращается в бесконечность. В обычной ньютоновской формуле закона всемирного тяготения тоже есть сингулярность. Если расстояние между двумя телами равно нулю, то и в ньютоновской теории сила притяжения таких тел друг к другу равна бесконечности. Но эта сингулярность никому не мешает – в природе не может реализоваться случай, когда расстояние между телами точно равно нулю! А Шварцшильд в рамках общей теории относительности нашел, что сила взаимного притяжения становится бесконечно большой при *конечном*, не равном нулю расстоянии между объектами. Достаточно сжать звезду до некоторого критического размера, и сила тяжести на поверхности такой звезды станет бесконечно большой. Этот критический радиус и был назван гравитационным или радиусом Шварцшильда. Гравитационный радиус – та граница, с приближением к которой эффекты общей теории относительности неограниченно возрастают.

Переменной величиной в формуле радиуса Шварцшильда является только масса звезды. Чем больше масса звезды, тем больше ее гравитационный радиус. Гравитационный радиус Солнца равен 3 км. Запомните эту цифру – достаточно знать массу звезды, выраженную в массах Солнца, и мы, умножив массу на три, получим величину гравитационного радиуса звезды, выраженную в километрах. Так вот, если радиус звезды ненамного больше гравитационного, то поле тяжести сверхсильно. Радиус Солнца больше гравитационного в 200 тысяч раз, и эффекты общей теории относительности очень малы, поле тяжести Солнца хорошо описывается ньютоновской теорией (эффекты малы, но все же измеримы – ведь удалось же измерить отклонение луча света в поле тяготения Солнца!). А радиус нейтронной звезды всего 10 км – в 2-3 раза больше гравитационного. Сила тяжести чрезвычайно велика, без общей теории относительности не обойтись.

Теперь становится ясно, почему не могут существовать «адские звезды». Если их размеры меньше размеров атома, то они подавно меньше гравитационного радиуса, и сила тяжести в таких звездах должна быть бесконечно большой. Но звезду удерживает в равновесии газовое давление. Значит, и газовое давление должно быть бесконечно велико, чтобы уравновесить гравитацию. Но чтобы давление стало бесконечным, нужна бесконечно большая плотность вещества. Плотность бесконечно велика, если тело сжато в точку. А это невозможно. И потому газ в нашей звезде имеет вполне конечную плотность. Вычислим ее. Сожмем Солнце до размеров его гравитационного радиуса – 3 км. Разделим массу Солнца, равную  $2 \times 10^{33}$  г, на объем шара радиусом 3 км и получим, что плотность такой звезды равна  $2 \times 10^{16}$  г/см<sup>3</sup>. Конечно, это очень много – 20 миллиардов тонн в кубическом сантиметре. Но ведь не бесконечно много! А сила тяжести на поверхности такой звезды именно бесконечна. И



значит, *никакое* газовое давление в принципе не удержит в равновесии звезду, радиус которой равен радиусу Шварцшильда. Сила тяжести начнет распорядиться бесконтрольно. И вещество звезды под действием тяжести начнет падать... падать... падать...

Задача, которую решил Шварцшильд, долго казалась астрономам чисто академической, не имеющей отношения к реальным небесным явлениям, хотя объекты, описанные Шварцшильдом, и назывались звездами. Большой интерес к этой задаче проявили физики, но их интересовала важная, но чисто физическая проблема источников звездной энергии. Одним из пионеров таких исследований был замечательный советский физик Л.Д. Ландау. Его небольшие заметки об источниках энергии звезд оказали на физиков большее влияние, чем эффектные предсказания астронома Цвикки. Именно статьи Ландау стали стимулом, побудившим Р. Оппенгеймера и его сотрудников обратиться к исследованию строения нейтронных звезд.

## Нейтронные звезды

Первая заметка Ландау появилась в 1932 году – еще до сообщения об открытии нейтрона. Называлась она «К теории звезд». Ландау поставил вопрос: какой может быть масса звезды, состоящей из вырожденного ферми-газа? Чандрасекхар задавал тот же вопрос раньше и ответил на него (судя по всему, Ландау не знал о работе индийского ученого, поскольку ни словом о ней не обмолвился – вот пример отсутствия контактов между физиками и астрофизиками). Но Ландау пошел дальше. Он писал: «При  $M > M_0$  во всей квантовой теории не существует причины, которая предотвратила бы коллапс системы в точку». Именно то, о чем мы только что говорили! В 1937 году Ландау вновь обратился к теории звезд, опубликовав статью «Об источниках звездной энергии». Нейтроны уже были известны. Нейтронный газ можно сжать значительно сильнее, чем газ из протонов и электронов, ведь нейтроны не заряжены, между ними не действуют силы электрического отталкивания. Естественно был поставлен вопрос: а если? А если звезда состоит из нейтронов? А если во всех звездах есть нейтронные ядра? А если эти нейтронные ядра и являются источниками звездной энергии?

Эти вопросы и задавал Ландау в своей статье. На первый из вопросов ответили американские физики Р. Оппенгеймер и М. Волков через год после того, как прочитали статью советского ученого. Интересно, что Оппенгеймер с Волковым тоже не обратили внимания на статью Бааде и Цвикки!

Оппенгеймер и Волков первыми решили задачу о том, как может выглядеть нейтронная звезда, какова ее структура. И помогла им в этом общая теория относительности. Допустим, сказали они, что звезда целиком состоит из нейтронов. В нейтронном газе существует давление вырождения, которое в принципе способно уравновесить поле тяжести. Уравновесить в любой точке звезды. Но чему равна сила тяжести в любой точке звезды? Чтобы рассчитать это, Оппенгеймер и Волков применили общую теорию относительности. И уравновесили гравитацию давлением вырожденного нейтронного газа. Не простого газа, а идеального! Впрочем, в физике идеальный газ и является самым простым для расчетов. В идеальном газе частицы друг с другом не взаимодействуют, и это существенно упрощает вычисления.

Всегда ли давления идеального вырожденного нейтронного газа достаточно для того, чтобы поддержать равновесие звезды? Нет, ответили Оппенгеймер и Волков. Не может существовать нейтронная звезда с массой большей, чем 0,7 массы Солнца. Если масса больше, то давление вырожденного нейтронного газа не способно противостоять силе тяжести. Обратите внимание: полученное значение критической массы нейтронной звезды меньше, чем предельная масса белого карлика! Впрочем, эта странность (очень важная!) не заинтересовала Оппенгеймера и Волкова, как не интересовали их и сами белые карлики – астрофизические проблемы были им чужды. Как бы то ни было, в 1938 году физики теоретически *доказали*: нейтронные звезды могут существовать.

Правда, сами Оппенгеймер и Волков не очень надеялись, что их теоретические расчеты когда-нибудь реализуются в астрономических открытиях. Они писали:

«Представляется неправдоподобным, чтобы статические нейтронные ядра играли большую роль в звездной эволюции».

Важность проблемы была, таким образом, снята, и сама задача стала выглядеть не более чем физическим ребусом.

Но ребус этот не был еще решен окончательно. Что же случится с нейтронной звездой, если масса ее окажется больше найденного предела 0,7 массы Солнца? «Звезда будет бесконечно сжиматься», – сказали Оппенгеймер и Волков, повторив слово в слово вывод, сделанный ранее Ландау. Но что стояло за этими словами?

За этими словами стояло предсказание черных дыр.

### Коллапс

О звездах, с поверхности которых не может улететь свет, писали в свое время Мичелл и Лаплас. Но физика черных дыр гораздо богаче! Прежде всего, черная дыра – объект не только невидимый, но принципиально нестационарный. Именно на это обстоятельство впервые обратили внимание Оппенгеймер и Волков. А несколько месяцев спустя Оппенгеймер и Снайдер впервые описали, как должна выглядеть черная дыра для нас, наблюдающих с Земли, и для гипотетического космонавта, падающего вместе с веществом звезды к ее центру.

Оказывается, далеко не все равно – откуда смотреть!

Одно и то же явление может протекать по-разному, если наблюдать его из различных физических систем отсчета, – так утверждает теория относительности. Время, как известно, сокращается, если двигаться со скоростью, близкой к скорости света. Но если и вы, и космонавт в ракете движетесь равномерно и прямолинейно, то как узнать, кто из вас имеет субсветовую скорость, а кто – черепастью? С вашей точки зрения, летит космонавт, а с его точки зрения, летите вы. С вашей точки зрения, быстрее состариться должны вы, а с точки зрения космонавта – он. Как это проверить? Вам нужно опять встретиться и сравнить показания часов. Но встретиться-то вы не можете – ведь и вы, и он летите равномерно и прямолинейно в разных направлениях. Чтобы иметь возможность встретиться, кто-то из вас должен произвести разворот и полететь в обратном направлении. Но тот, кто начнет разворачивать свой корабль, сразу испытает действие ускорения. Тот же, кто летит по-прежнему, никаких ускорений не испытает. А ускорение, согласно принципу эквивалентности, то же самое, что и поле тяжести. Значит, можно считать, что тот, второй космонавт, вовсе не разворачивал звездолет, включая двигатели, а просто оказался на время в поле тяжести какого-то тела. В поле тяжести – мы уже говорили об этом – часы идут медленнее, даже световые колебания совершаются с меньшей частотой. И чем больше ускорение при развороте (то есть, чем больше поле тяжести), тем больше замедление времени. Когда вы снова встретитесь с космонавтом, который улетел и вернулся, окажется, что именно он остался молодым – ведь именно его, а не ваши часы шли медленнее...

Теперь вернемся к черной дыре. Представьте, что звезда начала неудержимо сжиматься. Произошел, как говорят астрофизики, катастрофический коллапс, и вы начали падать к центру звезды вместе с ее веществом. Все кругом падает вместе с вами. Вам просто не за что зацепиться взглядом, падает ведь *все* вещество звезды! И получается, что вы совершенно неподвижны относительно тех частиц вещества, которые летят поблизости от вас и с которыми вы можете сравнивать показания своих часов и длины своих линеек. Вы неподвижны друг относительно друга даже в момент пересечения сферы Шварцшильда. Для вас при пересечении этой страшной поверхности ничего страшного не произойдет! Вы будете падать все быстрее и за доли секунды – по вашим часам – окажетесь в центре звезды вместе со всем ее веществом, которое свалится вам на голову (хотя о какой голове можно говорить, если плотность вещества в центре звезды окажется бесконечно большой).

А теперь взглянем на ваше падение с точки зрения астронома, следящего за коллапсом звезды в телескоп.

Вот он видит, как в момент, когда газовое давление перестает уравнивать гравитацию, звезда быстро начинает уменьшаться в размерах. За полчаса она сжимается (падает...) от размеров Солнца до радиуса нейтронной звезды. Сжатие продолжается, и вы начинаете замечать странности. Вместо того, чтобы ускоряться – ведь сила тяжести растет, – падение *замедлилось!* Да, с приближением к сфере Шварцшильда сила тяжести устремляется к бесконечности. Но ведь и время начинает течь бесконечно медленно! Если падающая частица сигнализирует о своем движении, ежесекундно испуская по фотону (по часам, установленным на частице), то вы регистрируете эти фотоны сначала один раз в секунду, потом один раз в две секунды, один раз в три секунды, в четыре... И при этом энергия фотонов, преодолевших возрастающее поле тяжести, становится все меньше и меньше, пойманные вами фотоны оказываются все «краснее». Те фотоны, которые частица излучит вблизи самой сферы Шварцшильда, будут отделены для вас друг от друга интервалами в тысячи, десятки тысяч, миллионы лет. А последний фотон, который частица испустит, пересекая сферу Шварцшильда, доберется до вас через бесконечное время и будет иметь бесконечно малую энергию. Иными словами, вы этот фотон никогда не увидите.

Что же получилось? Звезда для вас как бы застыла. Процессы, которые вы наблюдаете, протекают все медленнее, пока не застынут окончательно. Впрочем, вряд ли вы вообще сможете что-нибудь наблюдать. Ведь красное смещение окажется так велико, что волны видимого света станут длинными радиоволнами и будут смещаться все дальше и дальше. Вы увидите, как звезда, начав сжиматься, попросту гаснет...

Вот какие странные метаморфозы произойдут со звездой, если в ней нечем будет поддерживать равновесие и начнется катастрофический коллапс. Так утверждает общая теория относительности. А сами эти звезды получили сначала название коллапсирующих. Впоследствии появилось еще одно название – застывшие звезды. Но укоренилось и стало общепринятым более звучное и экстравагантное название, придуманное Д. Уиллером: черные дыры. Черные дыры, откуда ни один луч света не может вырваться к наблюдателю. Черные дыры, которые проявляют себя лишь полем тяготения. Черные дыры, которые, в сущности, не звезды, а растянутый до бесконечности *процесс* сжатия звезды. Черные дыры, которые и сейчас представляют для теоретиков, для всех знатоков теории относительности увлекательную и не разрешенную пока окончательно загадку. И эти странные особенности коллапсирующего тела были впервые описаны в 1939 году Оппенгеймером и Снайдером...

С тех пор прошло почти 70 лет. Впрочем, первую четверть века из этих 70 теоретики черными дырами почти не интересовались – как, кстати, и нейтронными звездами. Но затем усилиями таких замечательных ученых, как Р. Керр, Б. Крускал, К. Торн, А. Ньюмен, С. Хокинг, теория черных дыр обогатилась множеством исследований, и сегодня мы знаем, что черные дыры способны все-таки терять массу и даже испаряться (квантовые эффекты!), вращающиеся черные дыры проявляют себя не так, как статичные, с помощью черных дыр можно, в принципе, проникнуть в другую вселенную, черные дыры можно (опять – в принципе!) использовать как машины времени... В общем, черные дыры, как и любой физический объект, оказались устроены гораздо сложнее, чем это предполагали ученые, впервые написавшие о коллапсирующих звездах.

В 1939 году, однако, ни самого термина «черная дыра» не существовало, ни даже предположений о том, как можно (и можно ли вообще) обнаружить на небе эти удивительные тела, невидимые в принципе.

### Угадать закон

Итак, следующая проблема в нашем «расследовании»: найти доказательства того, что гибель звезд в 1054, 1572, 1604 годах, как и другие вспышки сверхновых, действительно

приводила к образованию таких странных небесных тел, как нейтронные звезды и черные дыры.

К этому мы вернемся в следующей главе, а пока опять немного поговорим о методах. Эйнштейн не пользовался морфологическим анализом и, прежде чем сформулировать свой принцип эквивалентности, не опубликовал по теории гравитации ни одной ошибочной работы. Дело в том, что в конце XIX и начале XX века предлагалось много гипотез для спасения ньютоновской теории тяготения. Ошибочных проб было достаточно. А Эйнштейн занялся этой проблемой и нашел зерно. Сразу? Нет, этому предшествовали годы размышлений над проблемой тяготения. Годы мысленных проб. И ошибок, конечно. Мышление подобно айсбергу, и, чем мудрее ученый, тем глубже погружен этот айсберг. То, что находится над водой, то, что сам ученый называет работой мысли, – это работа сознания. А под водой, скрытно от всех и даже от самого ученого, идет бессознательная работа, происходит, по-видимому, неосознаваемое решение задачи, подсознательный перебор вариантов.

Психологическая инерция, преодолевать которую мы пока не научились, не позволяет сознанию безумствовать всегда, вводит его в рамки здравого смысла. Из-за этого сознанию бывает очень трудно нащупать решение, которое часто выглядит безумным. Похоже, что у подсознания такого тормоза нет. Далекое ассоциации, невероятные аллегории и аналогии – в эту невидимую подсознательную игру и вклиниваются вдруг ассоциация или аналогия, подсказывающие решение. Поэтому так часты озарения «во сне» или «на прогулке». Алогичность снов не имеет ничего общего с логикой науки. Этим же отличается гениальная идея от обычной. Уже потом, найдя правильное решение, всплывшее будто бы из «ниоткуда», можно навести мосты логики, построить дорогу от старой идеи к новой. Подсознание проводит пробы, а интуиция отбирает среди них верную. Роль интуиции – в выборе, но для того, чтобы выбрать, нужно иметь из чего выбирать!.. Поэтому, говоря об Эйнштейне, мы вовсе не опровергаем метод проб и ошибок. Дело в неисследованной пока роли подсознательного.

Неизвестно, как происходит подсознательное мышление, но то, что оно перебирает различные идеи, – это гипотеза, которая выглядит вполне правдоподобно. Сократ говорил, что у него есть личный демон, подсказывающий ему мысли. Многие ученые говорят о «внутреннем голосе». Г. Селье писал: «Построение гипотез гораздо меньше зависит от логического мышления, чем думает большинство людей. Ни одна гипотеза не может быть создана путем только логического рассуждения, потому что она... основывается на недостаточном количестве данных...»

Подсознательная работа скрыта от взглядов, и нередко самому ученому кажется, что он просто отгадал верный закон. И сам метод предсказания законов сводится именно к правильному угадыванию. Известный американский физик Р. Фейнман писал: «Угадывание уравнений, по-видимому, очень хороший способ открывать новые законы». И дальше пояснял свою мысль: «Вообще говоря, поиск нового закона ведется следующим образом. Прежде всего о нем догадываются... Для того, чтобы угадать, что именно следует сохранить, а что необходимо отбросить, требуется немалое мастерство. По правде говоря, я вполне допускаю, что дело здесь только в удаче, но выглядит все именно так, как если бы для этого требовалось большое мастерство».

Довольно странное утверждение! Сказать, что новые законы нужно угадывать – это сказать, что все решает лотерея. Ты не угадал, угадает другой. Ты попробовал и ошибся, другой попробует и попадет в точку. Почему же гений чаще попадает в точку?

Нужно попытаться нащупать *систему*. Морфологический анализ – первый шаг к методологии открытий и научных изобретений. Он позволяет сознательно делать то, что обычно выпадает на долю подсознательного. Но ведь должен существовать еще какой-то метод выбора! Из подсознания обычно «всплывают» наиболее интересные и перспективные идеи. Часто – верные. Как из морфологического ящика *сознательно* выбирать такие идеи? Вот о чем нужно подумать...

## Глава четвертая Расследование заходит в тупик

*Чтобы узнать истину,  
нужно вообразить миллион неправильностей.  
О. Уайльд*

### Патруль сверхновых

Ф. Цвикки оказался настоящим ученым – он не отступил. В течение почти тридцати лет он да еще В. Бааде и Р. Минковский были, пожалуй, единственными астрономами, твердо убежденными в том, что нейтронные звезды существуют.

Чтобы обнаружить нейтронную звезду, предсказанную методом направленной интуиции, Цвикки полностью посвятил себя исследованию сверхплотных звезд и прежде всего – поиску сверхновых.

Но как увидеть вспышку сверхновой?

В нашей Галактике последняя такая вспышка, видимая с Земли, произошла в 1604 году. Значит, вся надежда на счастливый случай и на вспышки сверхновых в других галактиках. Но уже в тридцатых годах прошлого века число известных галактик – звездных островов во Вселенной – достигло десятков тысяч. В какой из них ждать вспышку? Для того чтобы наверняка «поймать» момент вспышки сверхновой в другой галактике, нужно наблюдать сразу много галактик. В 1933 году на обсерватории Маунт Вильсон был организован патруль сверхновых. На небе были выбраны 175 площадок, в которых были видны около трех тысяч довольно близких галактик. Астрономы регулярно фотографировали эти площадки и снимки сравнивали между собой. Из ночи в ночь. Недели и месяцы. За три года было сделано 1625 фотоснимков, на которых удалось обнаружить 12 сверхновых. Конечно, каждую вспышку сразу же исследовали – этим занимались В. Бааде, Р. Минковский и М. Хьюмасон. Главными задачами были – получить спектры вспышек и построить для каждой вспышки кривую блеска, то есть описать, как меняется со временем блеск сверхновой.

Спектры сверхновых, как выяснилось из наблюдений, оказались совершенно не похожи на спектры обычных новых звезд, вспыхивающих в Галактике. В чем же отличие? В спектре новой звезды видны яркие линии излучения, а вскоре после максимума блеска появляются и многочисленные линии поглощения, хотя и довольно размытые, но все же достаточно четкие, чтобы можно было сказать, какому элементу они принадлежат. В спектрах новых звезд были обнаружены линии гелия, водорода, натрия, углерода, кислорода и других элементов. Линии оказались смещены в голубую сторону – оболочка новой приближалась к наблюдателю со скоростью до 2 тысяч км/сек.

В спектрах сверхновых, полученных Хьюмасоном, линий не было вообще. Вместо них в совершенно неожиданных местах были обнаружены очень широкие полосы излучения. Только две полосы удалось довольно быстро отождествить – это оказались очень сильно расширенные линии кислорода, такие, какие наблюдаются в спектрах полярных сияний.

Чтобы отождествить остальные полосы, понадобилось почти тридцать лет. Сделать это удалось лишь в 1963 году Д. Мак-Лафлину. Он предположил: а что, если все *наоборот*? Что если на самом деле мы видим не полосы излучения на темном фоне, а полосы поглощения – на ярком? И Мак-Лафлин доказал, что в действительности в спектрах наблюдаются темные полосы углерода, кислорода (что бросилось в глаза – водорода не было!), но размытые до неузнаваемости и при этом смещенные в голубую сторону спектра на величину, соответствующую огромной скорости движения до 10-20 тысяч км/сек!

Спектры исследованных 12 сверхновых оказались очень похожи друг на друга. Похожи были и кривые блеска. Вывод напрашивался: сверхновые являются однородной группой объектов.

Но этот вывод был слишком поспешным. В 1940 году Р. Минковский получил спектр очередной сверхновой и не узнал его. Спектр был не похож на все предыдущие, и Минковский был вынужден объявить: вспышки сверхновых бывают по крайней мере двух типов. Сверхновые I типа имеют в спектре яркие полосы (дело было задолго до работ Д. Мак-Лафлина), а в спектрах сверхновых II типа таких полос нет. Более того, оказалось, что сверхновые II типа вспыхивают не реже, чем сверхновые I типа. И то, что за несколько лет патрулирования удалось открыть 12 вспышек I типа и только одну II типа, было следствием слепой игры случая. Того самого случая, который путает даже самые правильные рассуждения...

Выяснилось, что спектры и кривые блеска всех сверхновых I типа похожи друг на друга, как близкие родственники, а характеристики сверхновых II типа могут меняться в очень широких пределах. Со временем сложилось определенное представление о том, чем именно отличаются физически друг от друга сверхновые двух типов. Представление столь логичное и подкрепленное, к тому же, множеством не только наблюдений, но и расчетов, что, казалось, ничто не способно было его изменить.

Почему сверхновые I типа такие одинаковые? Потому, что вспыхивают в этом случае одинаковые по физическим свойствам объекты. Как это возможно? Вспомним о пределе Чандрасекхара для массы белых карликов. Если масса белого карлика увеличивается и по какой-то причине достигает значения 1,2-1,4 массы Солнца, звезда теряет устойчивость, давление вырожденного электронного газа не может больше противодействовать силе тяжести, начинается неуправляемый коллапс, выделяется колоссальная энергия...

И при этом, заметьте, во всех речь идет о коллапсе белого карлика *одной и той же* массы. Значит, и энергия выделяется во всех случаях приблизительно одинаковая, и химический состав сброшенных оболочек должен быть во всех случаях подобен. Конечно, остается вопрос о том, почему и как увеличивается масса белого карлика, почему оказывается достигнут предел Чандрасекхара. Но это уже вопрос второй, и ответов на него может быть много. Главное же – удалось объяснить, почему все сверхновые I типа такие одинаковые.

А почему сверхновые II типа все разные? Это тоже объяснимо, если предположить, что взрываются не белые карлики, а массивные звезды, закончившие свою эволюцию и обладающие ядром, масса которого больше чандрасекхаровского предела. Масса звезды может быть и три, и пять, и десять масс Солнца. Масса ядра тоже, соответственно, превышает чандрасекхаровский предел в полтора, три, пять раз... Потому и вспышки так отличаются друг от друга.

В максимуме яркости сверхновые I типа излучают примерно одинаково: около  $10^{44}$  эрг/с. Если бы такая сверхновая вспыхнула на расстоянии 1 пс от Земли, то она светила бы всего в 15 раз слабее Солнца. Полная энергия, излученная при такой вспышке, достигает  $5 \times 10^{50}$  эрг.

Вспышки II типа, напротив, очень разнообразны. В среднем эти сверхновые чуть слабее в максимуме, но, тем не менее, полная энергия вспышки больше – около  $10^{51}$  эрг.

### Такие разные сверхновые

Разделение сверхновых на два типа продержалось несколько десятилетий, хотя со временем и становилось понятно, что все далеко не так просто. Сейчас уже и сверхновые I типа представляются не столь однородной группой объектов, чем полвека назад. Стандартными «свечами» считаются сверхновые типа Ia – эти вспышки действительно настолько однородны, что по ним в наши дни достаточно уверенно оценивают расстояния до относительно далеких галактик и даже измеряют возраст Вселенной. Исследовав несколько сот вспышек сверхновых типа Ia, А. Филипченко в 2004 году вычислил значение так называемой постоянной Хаббла (эта величина определяет, как быстро возрастают скорости удаления галактик по мере удаления от Земли). Если Вселенная расширяется равномерно, а не ускоренно или замедленно, то величина, обратная постоянной Хаббла, как раз и даст

значение возраста – времени, прошедшего после Большого взрыва. Современные знания о сверхновых типа Ia говорят: Большой взрыв произошел 13,1 миллиарда лет назад.

Со временем к типу II добавились сверхновые III типа, а внутри каждого типа появилось множество подгрупп. Современная классификация сверхновых сложна и во многом противоречива, но она все же гораздо точнее, чем полвека назад, отражает истинное многообразие звездного мира – ведь, как оказалось, на физические характеристики взрыва влияет далеко не только (и даже не столько) масса звезды перед вспышкой (именно на этом было основано разделение сверхновых на типы I и II). Влияет еще величина магнитного поля звезды в момент взрыва, скорость ее вращения, некоторая асимметрия звездного ядра, возникающая, например, из-за быстрого вращения или сильного магнитного поля...

В 2007 году, после многочисленных попыток свести различные вспышки сверхновых к единой классификационной схеме, итальянские ученые М. Туратто, С. Бенетти и А. Пасторелло заявили, что классическая схема себя окончательно изжила, необходима новая классификация, учитывающая огромное разнообразие мира сверхновых. Разнообразие, о котором, конечно, никто не подозревал в сороковых годах, когда Р. Минковский заговорил о двух типах вспышек.

Пример классификации сверхновых показывает, в частности, как мог бы и в этом случае помочь морфологический метод, о котором шла речь во второй главе. В принципе, если строить морфологическую таблицу для объекта «сверхновые», то в графе «энергия, излученная во время вспышки» следовало бы указать все значения от, например,  $10^{45}$  эрг (столько выделяется при вспышке обычной новой звезды) до... Действительно, до какого числа? В принципе – до бесконечности, так, во всяком случае, следует из самого принципа построения морфологических таблиц. Но каждый астрофизик знал уже в те годы, что выделиться при взрыве может лишь та энергия, какой обладает звезда, а это, даже если обратить в излучение всю ее гравитационную энергию, не больше, чем  $10^{54}$  эрг для очень массивных звезд. Это очень значительный интервал. Между тем, для известных в сороковых годах сверхновых энергия, излученная при вспышке, заключена была в интервале  $10^{50}$ - $10^{51}$  эрг. А что же остальные? Об остальных возможных величинах и речи не было – нет наблюдений, значит, и обсуждать нечего. Между тем, если подойти к проблеме систематически, то уже в те годы можно было, в принципе, задать вопрос: существуют ли в природе сверхновые других типов, кроме I и II? Могут ли существовать вспышки более яркие (значительно более яркие!), чем наблюдаемые? И если да, то почему их не видно?

Ответив «да» на первый вопрос, можно было, отвечая на второй, рассуждать, по крайней мере, о двух возможностях. Во-первых, более яркие сверхновые могут вспыхивать так далеко, что с Земли они или не видны вовсе, или выглядят столь слабыми, что их невозможно было обнаружить, пользуясь той измерительной техникой, какой обладали астрофизики 60 лет назад. Во-вторых, эти сверхяркие сверхновые могут взрываться так редко, что за десять лет патрулирования они просто ни разу не вспыхнули.

Собственно, оба объяснения верны, как и морфологический метод, результатом применения которого эти объяснения могли бы стать. Много лет спустя, в начале XXI века, когда стандартная классификация вспышек уже потеряла свою простоту, астрофизики все же не рисковали расширить диапазон вспышек до энергии  $10^{54}$  эрг. Формально, зная морфологический анализ, они должны были учесть эту возможность, но кто из ученых использовал в своей работе метод, существовавший уже полвека?

## Гиперновые

Аномально яркая сверхновая, которой даже пришлось дать новое определение, была, в конце концов, обнаружена, но совсем не так, как регистрировали вспышки сверхновых раньше. Цвикки, Бааде, Минковский и их коллеги в более поздние десятилетия вели оптический поиск сверхновых. Иногда (как в случае яркой сверхновой 1987 года) удавалось обнаружить не только оптическое, но также и рентгеновское излучение во время вспышки.

Однако, 28 февраля 1997 года совершенно невероятный по энерговыделению взрыв наблюдали не оптики, а специалисты по космическим гамма-всплескам. Приборы итало-голландского спутника ВерроSAX зафиксировали мощную вспышку гамма-излучения, продолжавшуюся всего 30 секунд. Несколько часов спустя на том месте, где произошла гамма-вспышка, удалось зафиксировать слабый рентгеновский источник, яркость которого быстро уменьшалась. А еще через сутки в оптическом диапазоне была обнаружена слабенькая затухавшая голубая звездочка. Понадобился еще год, чтобы доказать: вспышка, наблюдавшаяся в гамма, рентгеновском и оптическом диапазонах произошла в очень далекой галактике. Когда по величине красных смещений линий в спектре галактики удалось определить, как далеко от Земли она расположена (более миллиарда световых лет!), стало ясно, что вспышка 28 февраля 1997 года – явление столь грандиозное, что невозможно назвать его просто взрывом сверхновой. В одном лишь гамма-диапазоне во время короткой вспышки выделилась энергия  $3 \cdot 10^{53}$  эрг! Максимальная плотность энергии, излученной при вспышке, соответствует плотности энергии, которая была во Вселенной через 1 секунду после Большого взрыва. В течение первой десятой доли секунды полное энерговыделение вспышки составляло  $10^{55}$  эрг/с – это соответствует электромагнитной светимости половины звезд Вселенной. Ничего подобного ранее не наблюдалось, и для нового явления нужно было придумать не только физическое объяснение, но и название. Б. Пачиньский назвал эту вспышку «гиперновой».

Да, это тоже коллапс, тоже гибель звезды, тоже, как и при вспышке обычной сверхновой, образование релятивистского объекта – черной дыры, а не нейтронной звезды, поскольку масса объекта велика. Но почему же все-таки при вспышке гиперновой выделяется так много энергии – на 2-3 порядка больше, чем при взрыве сверхновой I типа?

Пачиньский ответил на этот вопрос так: взорвалось ядро очень массивной звезды в тесной двойной системе, причем ядро это быстро вращалось вокруг оси и обладало сильным магнитным полем. Только в этом случае – когда колоссальные энергии перекачиваются из вращения и магнитных полей в разлетающуюся оболочку – и возможен такой уникальный взрыв.

Вспышка гиперновой 1997 года действительно уникальна, но наблюдается и противоположный вариант, который также можно, в принципе, обнаружить в морфологической таблице: вспышка сверхновой есть, а звезда не погибает!

Речь опять идет об очень массивных звездах – таких, как звезда, чья вспышка привела к явлению гиперновой. Если для нее гибельным стало энерговыделение до  $10^{54}$  эрг, то более слабые вспышки такая звезда может, вероятно, перенести и без особого ущерба для своего «здоровья»? Да, но более слабые вспышки в этом случае – именно такие, какие мы называем стандартными сверхновыми! Значит, если звезда очень массивна, то возможна ситуация, когда явление сверхновой наблюдается, а звезда продолжает жить, как ни в чем не бывало?

Действительно, существуют очень массивные звезды (с массой в десятки масс Солнца), в которых время от времени происходят вспышки такие яркие, что их можно принять за вспышки сверхновых. Так, например, изредка вспыхивает звезда  $\eta$  Киля в нашей Галактике, а в 2002 году наблюдалась мощнейшая внегалактическая вспышка, которую сначала приняли за вспышку сверхновой, правда, очень необычную. Впоследствии, однако, оказалось, что звезда во время этого супервзрыва не погибла – очень массивная звезда пережила эту катастрофу, как, видимо, переживала и другие столь же мощные вспышки, происходившие прежде. В конце концов, одна из таких супервспышек все же окажется роковой, однако, пока этого не произошло, массивная звезда, по версии уже упомянутых Туратто, Бенетти и Пасторелло, способна выдержать не один десяток подобных драматических пертурбаций – происходит, как они предполагают, длительная (но все же короткая по астрономическим масштабам) агония массивной звезды...

Мы, однако, забежали далеко вперед – вернемся в те годы, когда ни о гиперновых, ни даже о возможности существования сверхновых каких-то других типов, кроме двух известных, никто не подозревал.



## Что происходит с Крабом?

В начале сороковых годов прошлого века удалось получить новую информацию и о галактических сверхновых. Точнее, об одной сверхновой – вспышке 1054 года. Крабовидная туманность считалась единственным известным в то время остатком вспышки сверхновой. Положения на небе остальных исторических вспышек были так неопределенны («На полциновки от Блинецов...»), что поставить в соответствие оптической вспышке какую-нибудь газовую туманность или звезду было невозможно. Естественно, что интерес «ловцов сверхновых» сосредоточился на Крабовидной туманности.

Морфологический анализ позволил в конце тридцатых годов сделать еще несколько «научных пророчеств», оправдавшихся впоследствии. Ф. Цвикки утверждал, например, что большая часть энергии вспышки сверхновой должна излучаться не в видимой области длин волн, а в области невидимых ультрафиолетовых, рентгеновских и гамма-лучей, а также в радиодиапазоне. Все эти виды излучений были затем (через два-три десятилетия!) обнаружены у Крабовидной туманности.

Предсказание прямо следовало из предположения, что при вспышке сверхновой рождается нейтронная звезда. Гравитационная энергия нейтронной звезды около  $10^{53}$  эрг, а гравитационная энергия Солнца около  $10^{48}$  эрг. Если сжать Солнце до размеров нейтронной звезды, то разница между этими энергиями должна быть куда-то деться. Сверхновая за время вспышки излучает в оптическом диапазоне «всего»  $10^{50}$ - $10^{51}$  эрг – в сотни раз меньше. Где остальная энергия? Естественно было предположить, что она выделяется в такой форме, которую астрономы пока обнаружить не могли. В виде рентгеновских, гамма-, радиолучей, то есть всех излучений, наблюдать которые в тридцатые годы не умели.

Ф. Цвикки построил морфологическую таблицу с осью возможных излучений, на которой были обозначены не только электромагнитные волны. Ученый писал еще о протонах и электронах – частицах космических лучей, которые, по мнению Цвикки, образуются при вспышках сверхновых. Но протоны и электроны – это ведь не все возможные частицы? Нет, и об этом упущении Цвикки нам еще предстоит вспомнить. Так что и морфологический анализ не столь уж совершенен, недостатки его очевидны. Один из них – не всегда удается учесть *все* параметры на оси...

Позже мы поговорим о других методах, а сейчас вернемся к Крабовидной туманности.

Неизвестно, что еще удалось бы предсказать Цвикки с помощью его метода, но помешала вторая мировая война. Ученый, который к тому времени стал уже гражданином США, был призван на военную службу и до конца войны занимался разработкой ракетных систем. Он и здесь применил морфологический метод: составил морфологическую таблицу для ракетных двигателей, в которой оказалось 36 864 возможные комбинации. Если астрономы так и не взяли метод направленной интуиции на вооружение, то инженеры-изобретатели пользуются им и по сей день...

На Маунт Вильсон остались В. Бааде и Р. Минковский. Бааде тоже собирался получить американское гражданство и даже подготовил документы, но потерял их. Началась война, и военные власти объявили Бааде «лицом, сочувствующим врагу». В результате ему запретили выезжать за пределы округа, где расположена обсерватория Маунт Вильсон. Условия для астрономических наблюдений были прекрасными – в Лос-Анджелесе ввели светомаскировку, и никакие помехи не мешали исследованиям.

Получив в свое распоряжение крупнейший в мире телескоп, Бааде начал наблюдения Крабовидной туманности и зимой 1942 года обнаружил удивительные изменения, которые в ней происходили. Временами в центральной части туманности возникали и исчезали очень яркие «жгутики». «Жгутики» перемещались по туманности, и Бааде измерил скорость их движения: 26 тысяч км/сек! Жгуты двигались в 25 раз быстрее самой туманности. Они возникали и исчезали, просуществовав всего несколько месяцев. Почему они возникали? Почему двигались? Почему исчезали? Бааде правильно связал эту удивительную

особенность Крабовидной туманности с присутствием в ней нейтронной звезды – мертвого тела, оставшегося после взрыва.

### **Южная звезда – остаток вспышки?**

Пока В. Бааде исследовал туманность, Р. Минковский изучал две слабенькие звездочки, издавна наблюдавшиеся на фоне светящейся массы М 1. Одна из звездочек, как надеялись В. Бааде и Р. Минковский, и могла быть искомым объектом. На фотографиях обе звездочки мало отличаются друг от друга – обе имеют 16-ю величину, обе по цвету похожи на обычные желтые карлики. В. Бааде обратился к двадцатилетней давности работе Дж. Дункана, который тоже наблюдал эти звездочки и измерил их собственное движение. Выяснилось, что звезда, расположенная севернее, почти не движется. А южная звезда, напротив, движется очень быстро – со скоростью по меньшей мере 100 км/сек. Обычно звезды так быстро не движутся. Что же приключилось с южной звездой, что заставило ее лететь с такой скоростью?

Еще более удивительным оказался спектр южной звезды. Нужно сказать, что даже полвека спустя получить хороший спектр звездочки 16-й величины было далеко не простой задачей. А в 1942 году работа, выполненная Р. Минковским, стала пределом мастерства наблюдателя. Удалось получить спектры обеих звезд. Северная звезда ничем не выделялась – в ее спектре были обнаружены линии поглощения, свойственные желтым карликам. А вот в спектре южной звезды линий не оказалось вовсе! Чтобы понять всю удивительность этого факта, достаточно вспомнить, что обычно в спектрах желтых карликов видны сотни линий, и десятки из них имеют такую ширину и глубину, что невозможно не заметить их на спектрограмме даже того качества, какая была у Р. Минковского. Значит, линий не было на самом деле. Почему?

В. Бааде и Р. Минковский были уверены, что южная звезда в Крабовидной туманности и есть звездный остаток вспышки 1054 года. Если это так, то именно южная звезда ответственна за излучение всей туманности. Естественно было считать, что Крабовидная туманность светится потому, что газ в ней нагрет до высокой температуры. Однако за 900 лет, прошедших после взрыва, туманность успела бы остыть, будь она предоставлена самой себе. Что-то должно было постоянно нагревать газ в туманности. Что? Туманность греется южной звездой, сказал Минковский. И в этом была его ошибка.

Между прочим, представления В. Бааде и Р. Минковского лучше всего описаны не в их статье, а в опубликованном в 1946 году фантастическом рассказе М. Лейнстера «Первый контакт». Действие рассказа разворачивается в Крабовидной туманности, и писатель описывает «сцену» в полном соответствии с научными данными своего времени. С данными, которые оказались ошибочными.

Вот, что написано в рассказе:

«Это было облако газа, бесконечно разреженного, занимавшего пространство, равное половине пути от нашего Солнца до ближайшего другого. В глубине тумана горели две звезды, двойная звезда, одна из составляющих частей была знакомого желтого цвета, похожего на цвет земного Солнца, другая казалась сверхъестественно белой».

И дальше:

«Сама туманность появилась в результате самого гигантского взрыва из всех известных человечеству... Вещество, выброшенное из центра взрыва, разлеталось со скоростью два миллиона триста тысяч миль в час; более чем тридцать восемь тысяч миль в минуту; свыше шестисот тридцати восьми миль в секунду. Когда телескопы двадцатого века нацелились на место этого громадного взрыва, осталась только двойная звезда... и туманность. Более яркая звезда из пары была почти уникальной, имея такую высокую температуру своей поверхности, что спектральный анализ оказался недейственным. Линий не было. Температура поверхности Солнца равна примерно семи тысячам градусов Цельсия выше нуля. Температура же раскаленной звезды равнялась пятистам тысячам градусов. У них с

Солнцем почти одинаковая масса, а диаметром она в пять раз меньше, то есть она плотней воды в сто семьдесят три раза, свинца – в шестнадцать раз, иридия – в восемь. Это было самое тяжелое вещество из всех известных на Земле. Но даже такая плотность не сравнима с плотностью карликовой белой звезды – соседа Сириуса. Белая звезда в Крабовидной туманности была неполным карликом; эта звезда находилась еще в процессе распада»...

Любопытная ситуация: фантаст воспользовался точными для своего времени научными данными – и ошибся. Если бы он избрал самый фантастический из вариантов – нейтронную звезду, – то оказался бы прав вопреки наблюдениям. Вывод: воображение писателя-фантаста должно опережать науку, и если уж пользоваться идеями ученых, то – самыми фантастическими.

Числа, приведенные в рассказе, М. Лейнстер взял из работы Р. Минковского. Налицо явное противоречие. Размер южной звезды получился у Р. Минковского слишком большим: всего впятеро меньше Солнца. Либо нужно признать, что в центре Крабовидной туманности нет нейтронной звезды, либо сказать, что теория излучения туманности неверна. Минковский верил, что нейтронная звезда в туманности должна быть, но в то же время не видел альтернативы для механизма излучения. Это было проявление психологической инерции, свойственной многим астрономам. Астрономы *привыкли* считать, что любое небесное тело излучает потому, что оно нагрето. Они, конечно, знали, что есть и другие механизмы излучения, но применять их даже к такому явно необычному объекту, как Крабовидная туманность, не решились. Так, стараясь спасти оба предположения, противоречившие друг другу, Минковский упустил открытие.

Долгое время на возникшее противоречие никто не обращал внимания. Астрофизиков вполне устраивала привычная картина излучения нагретого газа, а то, что при этом не оставалось места для нейтронной звезды, это даже было хорошо – кто верил тогда в нейтронные звезды?

Так продолжалось до конца сороковых годов. Лишь в 1948 году произошло событие, показавшее всем, что противоречие действительно существует. Дж. Болтон, один из первых радиоастрономов, обнаружил на небе четыре ярких источника радиоизлучения. Один из источников был расположен в созвездии Тельца. Год спустя Дж. Болтон и Дж. Стенли уточнили координаты этого источника, и оказалось, что они в точности совпадают с положением Крабовидной туманности. Вот факт, и вот противоречие. Крабовидная туманность излучает в радиодиапазоне *слишком много!* Если это действительно просто нагретый газ, то его радиоизлучение должно быть совершенно ничтожно по сравнению с оптическим. На деле же все наоборот: в радиодиапазоне Крабовидная туманность излучает гораздо больше, чем в оптическом.

### **Почему излучает туманность?**

Это было противоречие между наблюдением и его интерпретацией. Разрешил его в 1953 году советский астрофизик И.С. Шкловский. Он предположил, что в Крабовидной туманности излучает вовсе не газ, а электроны, движущиеся с почти световыми скоростями в магнитном поле туманности. Физикам такое излучение было известно, называлось оно синхротронным. Причина излучения такова. Электрон – заряженная частица. Попав в магнитное поле, он подвергается действию так называемой силы Лоренца. Под действием силы заряд начинает двигаться ускоренно. Ускоренно движущийся заряд должен излучать. Чем больше ускорение (создаваемое магнитным полем, а значит – чем больше поле) и чем больше энергия электрона, тем интенсивнее он излучает. А сверхбыстрые, так называемые ультрарелятивистские электроны, «запутавшись» в магнитном поле Крабовидной туманности, излучают во всех диапазонах длин волн. Идея была проста и объясняла наблюдательные данные так естественно, что никто против нее и возражать не стал. Правда, от объяснения загадки излучения Крабовидной туманности у астрономов несколько не прибавилось веры в то, что в этой туманности находится нейтронная звезда.

Никто, даже В. Бааде с Р. Минковским, не возвращался в те годы к загадке южной звезды. А ведь она стала еще загадочнее, чем была! Если излучение Крабовидной туманности синхротронное, то нагревать газ в туманности вовсе не нужно, и значит, нет необходимости предполагать, что в туманности находится горячая звезда. А размер южной звезды был получен Р. Минковским именно в предположении, что звезда очень горячая. Все рассыпалось... Что же представляет собой южная звезда? И какие основания считать ее остатком взрыва?

Казалось бы, основания есть. Ведь для того, чтобы существовало синхротронное излучение, нужны сверхбыстрые, ультрарелятивистские электроны. Откуда им взяться, если не из южной звезды?

Можно возразить: электроны большой энергии могли остаться в туманности и со времен взрыва. Об этом писал еще Ф. Цвикки, когда объяснял происхождение космических лучей.

Но это предположение было опровергнуто в 1956 году советским астрофизиком С.Б. Пикельнером. Вот ход его рассуждений. Чем больше скорость движения электрона, тем больше его энергия, тем больше и излучение, и, следовательно, тем быстрее электрон свою энергию теряет. Электроны, ответственные за радиоизлучение Крабовидной туманности, теряют энергию не очень быстро, они действительно могли остаться после вспышки и «дожить» до наших дней. Но электроны, ответственные за оптическое излучение, за сто лет должны были растерять весь свой запас энергии! Но взрыв произошел девять веков назад. Девять раз должен был обновиться в туманности состав «оптических» электронов. Электроны, которые излучают сейчас, не могли возникнуть при взрыве – они появились в туманности значительно позже. В Крабовидной туманности должна быть «пушка», непрерывно стреляющая быстрыми электронами. Где же эта пушка? Одно из двух: либо электроны как-то ускоряются в самой туманности, либо источником их является южная звезда. Вспомним опять о ее необычных свойствах: об отсутствии спектральных линий, высокой скорости движения...

Однако, астрономы-наблюдатели на эти странности не обращали внимания вплоть до шестидесятых годов. Исследование остатков вспышек сверхновых пошло иным путем.

В 1948 году английские радиоастрономы М. Райл и Ф. Смит обнаружили мощный источник в созвездии Кассиопеи – самый мощный на небе. Еще раньше, в 1946 году, голландский астроном Ж. Оорт обратил внимание на огромную оптическую туманность в созвездии Лебеда, состоящую из множества тонких волокон. В туманности не было яркой звезды, способной заставить светиться такую массу газа. Это и навело Ж. Оорта на мысль, что волокнистая туманность в Лебеде, так же, как и Крабовидная, – остаток вспышки сверхновой. Были обнаружены радиоисточники и оптические волокнистые туманности и в тех областях неба, где вспыхивали сверхновые Тихо и Кеплера. Именно исследованием остатка сверхновой Кеплера и занялись В. Бааде и Р. Минковский после того, как отступились от южной звезды в Крабовидной туманности. Бааде еще в 1943 году обнаружил на месте вспышки сверхновой Кеплера слабенькую туманность и сказал – вот остаток! А ведь долгие годы на месте вспышки звезды Кеплера найти ничего не удавалось. И вот появились сразу несколько «подозреваемых», появилась возможность искать погибшие звезды не только в Крабовидной туманности.

Но астрономы занимались исследованиями туманностей, а не возможных звездных остатков в них. В конце сороковых годов в существование таких звездных остатков верили только Ф. Цвикки, В. Бааде и Р. Минковский. Что они могли сделать втроем? Бааде и Минковский изучали газовые туманности, оставшиеся после вспышек сверхновых. Это была кропотливая работа, отнимавшая все силы. А Цвикки вернулся к патрулированию сверхновых в других галактиках.

Кроме того, внимание астрономов было привлечено к открытым в конце сороковых годов первым радиозвездам, природа которых представлялась совершенно загадочной. Впоследствии удалось доказать, что это – далекие галактики, проявляющие небывалую,

немыслимую по масштабам активность. Исследование радиозвезд отвлекло силы наблюдателей и теоретиков от природы сверхновых.

### **Конец или начало?**

И еще. Ф. Цвикки говорил о *конце* жизни звезды, а астрономов в то время больше интересовало *начало* ее жизни. Связано это было с тем, что в 1947 году советский астрофизик В.А. Амбарцумян открыл скопления горячих голубых звезд, названные им звездными ассоциациями, и сделал заключение, буквально перевернувшее представления астрономов о Галактике. Звезды рождаются и в наши дни, причем не поодиночке, а группами, комплексами – таким было заключение. В Галактике есть звезды самых разных возрастов, в том числе и звезды-младенцы. «Живут» эти младенцы в колыбелях – звездных ассоциациях. Интересы астрофизиков сконцентрировались вокруг четко очерченных областей – происхождение звезд и природа далеких галактик. Этим объясняется временный спад интереса к исследованиям звездных взрывов.

Но ведь и теоретики не занимались нейтронными звездами! В результате расследование «гибели» звезд растянулось на десятилетия... Пожалуй, и это объяснимо. Попытка найти нейтронную звезду в Крабовидной туманности не удалась – южная звезда оказалась по размерам даже больше белого карлика. Это было ошибкой, но Р. Минковский ее не увидел. Для идеи, тем более парадоксальной, нужна мощная поддержка энтузиастов. Такой поддержки у идеи нейтронных звезд не было. Кроме того, сверхновые – явление экзотическое. Что важнее для астрофизики? Выяснить причину взрывов, которые происходят один раз в несколько столетий, или понять, как возникают звезды, которых только в нашей Галактике – сотня миллиардов? Дилемма ясная – нейтронным звездам пришлось подождать... Подождем и мы, отложив продолжение расследования до следующей главы. А пока история науки идет своей дорогой, поразмышляем о пути, поговорим о методике открытий.

### **Мозговой штурм**

В конце сороковых годов прошлого века изобретатели начали пользоваться еще одним способом ускорения генерирования новых идей. В американских промышленных фирмах начали применять предложенный А. Осборном метод, названный мозговым штурмом. Осборн заметил, что одни люди больше склонны к созданию новых идей, чем другие. В творческом коллективе всегда есть признанные генераторы идей, и есть люди, которым это не удастся, но зато разработка готовой идеи получается у них лучше. Осборн предложил собрать вместе генераторов идей, запретить им критиковать друг друга и предложить, чтобы они совместно решили какую-нибудь техническую задачу. В момент «штурма» каждую высказанную идею можно лишь подхватывать и развивать (никакой критики!). Все критические замечания откладываются на потом. Доброжелательное отношение к любой идее создает особый психологический климат, расслабляет тормоза в сознании, расшатывает инерцию мышления. Рождаются экстравагантные идеи, которые обычно в голову не приходят. Из них-то и выбирается потом решение.

Мозговой штурм хорош тем, что лучше метода направленной интуиции снимает психологическую инерцию. Но систематичности у него нет, и значит, нет гарантии, что решение не будет упущено. Обычно мозговой штурм используют для решения не очень сложных задач, когда необходимая «мера безумия» не очень велика.

В науке, где безумные идеи играют значительно большую роль, чем в технике, метод А. Осборна не привился, как, впрочем, и другие методы активизации творчества, придуманные инженерами. А разве не заманчиво было бы, скажем, собрать конференцию по космическим лучам, посадить за круглый стол десяток ученых – признанных генераторов идей, дать им полную свободу. Воображайте, предлагайте, но не критикуйте!

Попробуем представить себе такую конференцию по космическим лучам. Она прямо связана с нашим исследованием. Ведь именно проблеме космических лучей была посвящена статья В. Бааде и Ф. Цвикки...

\* \* \*

**1-й ученый.** Почему не предположить, что космические лучи были всегда? Они достались нам в наследство от самого момента взрыва Вселенной, как, скажем, реликтовое излучение.

**2-й ученый.** Что-то грандиозное могло происходить со Вселенной еще до того, как сформировались галактики...

**3-й ученый.** ...Или уже после того, как они сформировались. Вспомним взрывающиеся галактики. Или квазары. Вот где действительно грандиозные взрывы! Вполне вероятно, что и в квазарах, и во взрывающихся галактиках существуют сильные переменные магнитные поля, в которых и ускоряются частицы.

**2-й ученый.** Наверняка. Ведь известны радиогалактики – они излучают огромное количество энергии в радиодиапазоне, причем это излучение примерно такое же, как у Крабовидной туманности, – нетепловое. Значит, в радиогалактиках откуда-то берутся быстрые электроны! Наверняка их порождают сверхмощные взрывы в галактиках.

**1-й ученый.** Верно, это наблюдаемое явление. Космические лучи могут зарождаться в радиогалактиках, квазарах, а потом пересекать межгалактические бездны и достигать Земли.

**2-й ученый.** У меня возникла еще такая идея. Чтобы ускорить частицы, нужны электрические поля. Что-нибудь вроде небесных конденсаторов огромной емкости. Или небесные циклотроны. Представьте два космических облака плазмы, заряженных по-разному. Между ними возникает разность потенциалов, как между поверхностью земли и грозовой тучей. Разряд становится неизбежен, и на многие парсеки бьет «космическая молния». Возникает канал, в котором ускоряются до огромных скоростей и энергий заряженные частицы.

**3-й ученый.** Действительно, в космосе много плазменных облаков. И обладают они не только электрическими потенциалами, но и магнитными полями – это надежно установлено. Вот и еще один механизм. Предположим, что в пространстве летит заряд (например, электрон), а навстречу ему движется флуктуация магнитного поля – межзвездное облако. Поле нарастает, энергия частицы увеличивается. Если же поле движется не навстречу электрону, а вслед ему, догоняя, то энергия частицы уменьшается. Казалось бы, это симметричный процесс – сколько облаков летит навстречу электрону, столько же и догоняет его. Однако на самом деле – это можно показать простым расчетом – процесс не вполне симметричен. При столкновениях с магнитными полями заряд приобретает больше энергии, нежели теряет. Немного больше, после каждого столкновения энергия частицы возрастает на незначительную величину. Но ведь столкновений много, временем мы не ограничены – в запасе миллионы лет...

**2-й ученый.** Верно, такой механизм ускорения существует и называется статистическим. Хочу дополнить. Ведь частицы в космическом пространстве должны откуда-то браться. Они могут выбрасываться из звезд. Например, из вспыхивающих звезд – мощная вспышка в атмосфере звезды приводит к тому, что некоторое количество частиц ускоряется вихревыми электрическими полями и «впрыскивается» в межзвездную среду. А уж там статистический механизм доводит ускорение до конца.

**1-й ученый.** Частицы могут вылетать и из обычных звезд! Солнце, например, тоже может быть поставщиком частиц для космических ускорителей. Конечно, энергия солнечных вспышек значительно меньше, чем энергия вспышек в звездах типа, скажем, UV Кита. Но зато сто миллиардов звезд Галактики – это сестры нашего Солнца. С миру, как говорится, по частице, а Галактике – космические лучи.

**3-й ученый.** Вспомним еще, что больше половины звезд в Галактике – двойные. Если расстояние между звездами в двойной системе невелико, а сами звезды несут электрические

заряды, то они индукционно, через космос, должны влиять друг на друга. В пространстве между звездами возникнут переменные магнитные поля – вот вам и ускорители частиц...

**2-й ученый.** Если говорить о генерации частиц во время звездных вспышек, то чем мощнее вспышка, тем лучше, не так ли? Вспышки новых и сверхновых – вот неисчерпаемые запасы! Одна вспышка сверхновой эквивалентна многим тысячам миллиардов вспышек на Солнце...

**3-й ученый.** Так, так... А если объединить эту гипотезу со статистическим механизмом? Ведь чем быстрее движутся межзвездные облака, тем лучше идет ускорение... А газовый остаток вспышки сверхновой расширяется со скоростью тысячи километров в секунду!

**2-й ученый.** Значит, достаточно, чтобы при взрыве в оболочку выбрасывались заряженные частицы и попадали затем на ударный фронт, а там уж, где перепады давлений, плотностей, и где огромные, сверхзвуковые скорости движения...

**1-й ученый.** Вот именно! «Затравочные» частицы будут постоянно ускоряться.

\* \* \*

Не критиковать – первая заповедь мозгового штурма. Одна гипотеза нанизывается на другую, возносится на ней, как на гребне волны. Но затем предстоит выбрать единственно верную идею. И после того, как «генераторы идей» скажут свое слово, протоколы попадают на суд «критиков». Те идеи, что предлагались выше, обсуждались в научной литературе в течение многих лет. Статистический механизм ускорения был исследован Э. Ферми и носит его имя. Идея небесных циклотронов принадлежит Х. Альвену. Различные варианты первичного ускорения частиц в звездах обсуждались Х. Сваном, Р. Девисом, Д. Бэбкоком, Я.П. Терлецким, ускорение частиц в двойных системах – А.З. Долгиновым, ускорение на ударном фронте в остатке сверхновой – Г. Крымским, М. Беллом. И всякий раз идеи наталкивались на многочисленные возражения. Суд критиков был беспощаден.

Реликтовая теория космических лучей потерпела фиаско, потому что заряженные частицы, как выяснилось, довольно быстро теряют свою энергию на излучение – они не «живут» больше нескольких десятков миллионов лет, а ведь после Большого взрыва прошло в тысячу раз больше времени!

Взрывы галактик тоже не объясняют многих особенностей галактического фона космических лучей. Грозовой разряд между плазменными космическими облаками уж и вовсе экзотичен – нужны такие разности потенциалов (больше 10 миллиардов электронвольт!), которых просто нет в условиях межзвездной среды. А статистический механизм Ферми увеличивает начальную энергию частиц всего в несколько раз – этого слишком мало, чтобы объяснить колоссальные, до  $10^{18}$  электронвольт, энергии частиц в космических лучах.

Эффективно действует механизм ускорения, предложенный Г. Крымским и независимо от него М. Беллом. Но и этот механизм пока не способен объяснить все наблюдаемые особенности и свойства космических лучей.

С трудностями сталкиваются и гипотезы о начальном ускорении частиц в звездах. Это энергетические трудности – все нормальные и вспыхивающие звезды не способны вместе дать столько энергичных частиц, сколько наблюдается.

Вот что могли бы сказать «критики идей», если бы их собрали вместе и ознакомили с протоколами мозгового штурма. На самом деле процесс рождения и гибели идей растянулся на десятилетия... Без потерь вышла из горнила дискуссий только одна гипотеза. Предложенная Ф. Цвикки, она потом была забыта в пылу споров, но опять возродилась, подобно птице Феникс. Гипотеза о том, что космические лучи рождаются во время взрывов сверхновых.

## От мозгового штурма к синектике

Для того, чтобы придумать безумную, но верную идею, недостаточно одного лишь желания. Мозговой штурм оправдал себя пока при решении не особенно сложных технических задач. Техника имеет дело с известными законами природы, а ученому приходится открывать новые законы самому. Иной подход, иной стиль мышления.

Но так ли уж существенна разница? Мы говорили уже о существовании открытий и научных изобретений (так мы назвали создание новой теории). Для выдвижения новой концепции, новой теории, то есть *научного изобретения*, нужно активизировать работу мысли именно так, как это делается для изобретений технических. И то и другое – плоды деятельности человеческого воображения, работы творческой фантазии. Для предсказания *открытий*, возможно, нужны иные методы, но почему бы не попытаться использовать для создания новых теорий те приемы, что уже существуют в технике?

Новое в науке, как и в технике, возникает в результате устранения *противоречия*. Возникновение противоречия – признак наступления кризиса, признак того, что нужна, требуется новая система взглядов. Или открытие.

С одной стороны, ученый имеет дело с явлениями природы, с результатами измерений. С другой стороны – с мысленными образами, с представлениями о них, с теоретической интерпретацией. Возможны поэтому три типа научных противоречий:

1. Противоречивыми могут оказаться два экспериментальных факта, два наблюдаемых явления. Значит, для устранения такого противоречия придется изменить один из «фактов», наверняка ошибочный. То есть, обнаружить природное явление, снимающее противоречие. Научным изобретением здесь не обойтись, нужно именно открытие.

2. Противоречащими друг другу могут оказаться две теории, два представления об одном явлении. Значит, одно из представлений неверно, и разрешить такое противоречие можно с помощью научного изобретения.

3. Противоречить друг другу могут экспериментальный факт и его интерпретация. Здесь возможны два выхода: либо нужно менять интерпретацию (сделать научное изобретение), либо усомниться в правильности экспериментального факта (этот путь ведет к открытию). Наконец, создав новую теорию (сделав научное изобретение), можно предсказать новое, ранее не известное явление (предсказать открытие).

П. Дирак предсказал существование позитрона (предсказал открытие!), пользуясь выведенной им формулой (научным изобретением). Научное изобретение сделал Ф. Цвикки, но при этом предсказал открытие! Однако для научных изобретений вполне применимы методы, созданные для изобретений технических.

Нельзя сказать, что ученые вовсе не пользуются приемами ускорения творческого процесса. Психологи давно исследуют особенности мышления ученого, да и сами ученые не отстают. Почитайте, например, прекрасные книги венгерского математика Д. Пойа «Как решать задачу», «Математическое открытие», французского математика Ж. Адамара «Исследование процесса изобретения в математике». В этих книгах много дельных советов. Но заметьте – относятся они к математике, науке, в которой можно лишь изобретать (что подчеркивается и названием книги Ж. Адамара), то есть, использовать приемы, известные в инженерном изобретательском творчестве. Или наоборот – можно применить в инженерном деле приемы, созданные для решения математических задач.

Вот один из приемов: если задача не решается, возьмитесь за решение более общей задачи – возможно, она окажется проще. Еще прием: если не получается решение «в лоб», ищите обходные пути. Совершенно верные правила, беда которых лишь в том, что они не конкретны. Да, нужно решать более общую задачу, а как? Да, нужно искать обходные пути, но где? Ответов нет. Точнее, и Д. Пойа, и Ж. Адамар дают тот же ответ, что и Р. Фейнман. Ответ, от которого мы хотим уйти. Вот этот ответ: главное – интуиция, догадка, работа воображения. Д. Пойа, перечисляя правила рассуждений, заключает, что все эти правила должны помогать процессу *угадывания* решения...



Очень важная задача – научить ученого мыслить быстрее, раскованнее, шире, активизировать творческую фантазию. Хотя бы в рамках все того же метода проб и ошибок. Решению этой задачи служат морфологический анализ, мозговой штурм, а также синектика, метод фокальных объектов и другие методы и приемы, известные инженерам-изобретателям, но так и не взятые на вооружение учеными.

Метод синектики был предложен в 1960 году У. Гордоном.

Синектика – модифицированный мозговой штурм. Так же собираются вместе несколько профессионалов, так же генерируют идеи. Но допускаются элементы критики. Главное же отличие в том, что участники должны обязательно использовать четыре «закона синектики»:

1. вспомните, как решаются задачи, похожие на данную,
2. дайте в двух словах образное определение сути задачи,
3. подумайте, как бы эту задачу решили сказочные персонажи,
4. попробуйте войти в образ объекта, о котором говорится в задаче, и начните рассуждать с его точки зрения.

\* \* \*

Однажды американский изобретатель Ч. Кеттеринг создал проект легкого мотора, в котором стальные поршни были заменены алюминиевыми. Один из членов комиссии, обсуждавшей проект, решил, что изобретатель шутит. Ведь алюминий просто не выдержит нагрузок!

– Вы уверены? – спросил Кеттеринг.

– Конечно, ведь я раньше работал инженером.

– Допустим, – сказал изобретатель, – но я сомневаюсь в том, что вы работали поршнем в двигателе...

### **...И другие методы**

Синектика – шаг вперед по сравнению с мозговым штурмом. При мозговом штурме психологическую инерцию ослабляет лишь стимулирующий пример соседа, который придумывает более фантастические идеи. Синектика же предлагает четыре конкретных способа-задания, ослабляющих психологические тормоза. Вот, скажем, наша задача – выяснить причину взрыва сверхновых. Поставьте себя на место звезды перед взрывом и попробуйте рассуждать с ее «звездной» точки зрения...

А в методе фокальных объектов главная цель – навязать совершенно случайные аналогии, которые могут помочь найти решение. Этот метод способен вызвать неожиданные ассоциации. Нужно выбрать какой-нибудь совершенно случайный объект, называемый фокальным, и его свойства перенести на объект исследований. Этот метод, как и синектика, как и мозговой штурм, как и морфологический анализ, увеличивает вероятность рождения неожиданной идеи.

Выбираем некий объект, называем его фокальным, и на этот объект, как в фокус собирающей линзы, проецируем свойства нескольких других объектов или явлений, подобранных произвольным образом.

Алгоритм использования метода фокальных объектов:

- выберите фокальный объект,
- наугад назовите несколько других объектов (явлений, процессов),
- составьте список свойств и признаков отобранных случайных объектов,
- припишите все эти свойства фокальному объекту,
- для дальнейшего развития идеи (с целью получения нового качества) воспользуйтесь любыми приемами фантазирования, описанными ранее.

Попробуем разобраться на примере, как это работает. Выберем фокальный объект: подводная лодка. Случайные объекты: эрозия, кенгуру, компас.

Свойство компаса – стрелка всегда показывает на север. Перенос: подводная лодка способна двигаться только вдоль магнитных силовых линий или вдоль других избранных и неизменных направлений, например, по глубинным течениям. Безмоторное движение под водой совершается медленно, но зато это дешевый способ – в будущем такие своеобразные подводные «парусники» можно будет использовать для транспортировки грузов или для туризма.

Кенгуру – передвигается скачками, носит детенышей в сумке на животе. Пусть и наша подводная лодка передвигается скачками. Порт расположен на дне, куда пассажиров доставляют в лифте. Лодка совершает прыжок, отталкиваясь от дна, – до следующего порта.

Эрозия – процесс разрушения почвы. Пусть подводная лодка также разрушает воду во время движения (например, превращает в пар, как в «Тайне двух океанов» Г. Адамова, или разлагает комплексы молекул на составные части, как в рассказе В. Журавлевой «Снежный мост над пропастью»).

Результат использования метода фокальных объектов: имеем подводную лодку, которая начинает движение, отталкиваясь от дна, как кенгуру, для того, чтобы набрать начальную скорость. После этого она попадает в подводное течение, где разворачивает «парус» и плывет, разлагая перед собой воду с целью уменьшения лобового сопротивления...

## **Глава пятая** **На пороге открытия**

*Наука, как и все виды искусства, требует воображения.  
Первое, для чего оно нужно, – это увидеть предмет исследования.  
Дж. Томсон*

### **От обычных звезд к нейтронным**

Наш поиск нейтронных звезд затянулся. Кому может понравиться расследование, в котором автор, раззадорив фантазию читателя, наговорив ему о том, что нужно мыслить раскованно, сам топчется на месте вместо того, чтобы вести дело к развязке?

Однако причины временного затишья в исследованиях нейтронных звезд были объективными. И объективные же причины привели затем, в шестидесятых годах прошлого века, к взрывоподобному росту интереса к нейтронным звездам...

К концу пятидесятых годов положение в теории звездной эволюции стабилизировалось. Никто не сомневался в том, что ассоциации звезд существуют и что именно в ассоциациях, группами, рождаются звезды. Но из чего они возникают – из межзвездного газа или из гипотетических сверхплотных Д-тел, введенных в астрофизику В.А. Амбарцумяном? На этот вопрос еще не было твердого ответа. Однако, если уж звезда как-то образовалась, то можно проследить дальнейший ход ее эволюции. Это оказалось возможным сделать именно полвека назад, когда астрофизики начали использовать для своих расчетов электронно-вычислительные машины. По сегодняшним меркам эти первые компьютеры были невероятно громоздкими и медлительными, но уже могли выполнять вычисления, на которые прежде уходили годы. Появление компьютеров позволило астрофизикам взяться за решение сложнейшей теоретической задачи, давно ожидавшей своего часа – задачи о внутреннем строении звезды. Задачи о звездной эволюции.

Обычная звезда – горячий газовый шар, и действуют в ней газовые законы. Или, как говорят физики, уравнение состояния звездной материи есть уравнение состояния высокотемпературной плазмы. Дело, однако, осложняется из-за того, что в звезде идут ядерные реакции синтеза, которые разогревают звезду. Реакции идут в самых горячих и плотных областях звезды, в ее центральной части, о строении которой можно судить лишь по теоретическим моделям – ведь видим мы лишь поверхность звезды, ее фотосферу. Энергия, которая выделяется при ядерном синтезе, должна проделать сложный путь в

недрах звезды, пронзить всю ее толщу, прежде чем достигнет фотосферы и излучится в пространство. Ни одному кванту света – фотону – это не под силу, звезда непрозрачна. Фотон поглощается, пройдя в веществе звезды очень небольшое расстояние. А вместо поглощенного фотона излучается другой – в ином направлении и с иной частотой. Процесс поглощения и излучения занимает время, и энергия, выделившаяся сегодня в центре звезды от слияния четырех атомов водорода в один атом гелия, достигнет фотосферы и излучится в космос через много лет, претерпев множество превращений.

Да и само вещество звезды тоже не статично – в нем постоянно перемешиваются слои плазмы, опускаются и поднимаются, в них постоянно возникают и гаснут вихри. Звезда – газовый шар, говорим мы. Но за этими простыми словами скрывается очень сложное и богатое физическое содержание. Чтобы хотя бы приближенно разобраться в строении звезды, нужны неимоверно сложные расчеты реакций, состояний, процессов. Расчеты, ставшие технически выполнимыми только после появления компьютеров.

Когда астрофизики-теоретики начали рассчитывать звездные модели, стала проясняться истинная картина эволюции звезды. Вот она в нескольких словах.

Звезды рождаются с разными массами – от десятых долей массы Солнца до десятков солнечных масс. В их недрах начинает гореть водород, превращаясь в гелий. Постепенно водород «выгорает», ядро звезды сжимается, поскольку из-за нехватки горючего газовое давление в нем падает, и тогда начинают идти более сложные реакции, требующие более высоких температур и плотностей – загорается гелий. Эта стадия эволюции протекает значительно быстрее. В ядре уже нечему гореть, и реакции идут в тонком слое между ядром и оболочкой звезды. Давление на оболочку увеличивается, оболочка разбухает, звезда становится красным гигантом, и тут... И тут ее структура становится настолько сложной, что даже современные компьютеры часто не в силах помочь.

Помогают наблюдения. Стадия красного гиганта – одна из последних в жизни звезды. Ядро красного гиганта успевает за короткое время так сжаться, что, в сущности, представляет собой почти белый карлик. «Неполный карлик» – такое выражение можно встретить в фантастическом рассказе Лейнстера. Если найдется сила, которая «сдерет» с красного гиганта его оболочку, то ядро со временем станет обычным белым карликом.

А если масса ядра больше предела, установленного Чандрасекхаром для белых карликов? Прежде, как вы помните, с этой проблемой расправлялись быстро: звезда, как полагали исследователи, в течение эволюции теряет всю лишнюю массу и все равно становится белым карликом. Но в конце пятидесятих годов стало ясно, что это может быть и не так. И теоретики забеспокоились – как же быть с массивными звездами?

Тогда-то сверхплотные звезды снова привлекли внимание ученых. В тридцатые годы нейтронными звездами и катастрофическим коллапсом занимались прежде всего физики – им было интересно, какие следствия можно вывести из уравнений общей теории относительности. А в конце пятидесятих годов прошлого века сверхплотными телами заинтересовались астрофизики, причем с конкретной астрофизической целью: какую предельную массу может все-таки иметь нейтронная звезда?

Вы помните, что Р. Оппенгеймер и Дж. Волков получили для предельной массы нейтронной звезды значение 0,7 массы Солнца – вдвое меньше предельной массы белого карлика? Если это действительно так, то среди небесных тел нейтронных звезд не должно быть. Ведь если масса звезды меньше 1,4 массы Солнца (1,2 – с учетом эффектов теории относительности), то звезда эволюционирует к состоянию белого карлика. А если масса больше, то наступит катастрофический коллапс, беспредельное сжатие. В обоих случаях нейтронная звезда не возникает. Как же быть, например, с южной звездой в Крабовидной туманности – что она такое? Столь малое значение предельной массы нейтронной звезды астрофизиков не устраивало.

Для спасения идеи о существовании Д-тел, из которых, по мысли В.А. Амбарцумяна, возникают звезды, нужны были массы сверхплотных конфигураций, достигающие сотен масс Солнца! Ведь по гипотезе В.А. Амбарцумяна, десятки массивных звезд возникают в

ассоциации из *одного* дозвездного тела. Вот еще одна причина роста интереса к нейтронным звездам.

Однако первым после долгого перерыва на важность исследований сверхплотных звезд обратил внимание все же не астроном, а физик – американский ученый Дж. Уилер. В 1958 году вышла его книга «Строение Вселенной». Дж. Уилер писал, что проблема строения коллапсирующих звезд – не локальная астрофизическая задача. Нужно смотреть значительно шире. Это большая философская проблема, решение которой способно изменить представления о мироздании. Речь идет о том, до каких пределов можно применять известные физические законы и теории. Нейтронные звезды обладают плотностями, с которыми физики никогда не сталкивались. А на сфере Шварцшильда тяготение и вовсе бесконечно – с чем подобным сталкивались физики прежде? Кто может уверенно утверждать, что известные физические законы будут действовать и в таких экстремальных условиях? Ньютоновская теория тяготения верна, когда гравитационные поля *очень слабые*. Эйнштейновская теория была проверена экспериментально в полях не очень слабых, но и не сильных. Самое сильное поле тяжести, для которого был изучен эффект красного смещения, – поле тяжести белого карлика. Там эйнштейновская теория действует. Но нейтронные звезды обладают гравитационными полями, в тысячи раз более сильными! При коллапсе же поле тяжести увеличивается в бесконечное число раз! Верна ли и здесь эйнштейновская теория тяготения?

Когда начинается катастрофический коллапс, звезду уже ничто не может спасти – она сжимается в точку. Как быть? Противоречие: звезда должна сжаться в точку (так велит теория), но она не может сжаться в точку (ведь точка – математическая абстракция, вряд ли тело определенной массы может занимать нулевой объем). Возникает противоречие между двумя теориями, двумя фундаментальными представлениями о природе. Для его устранения нужно решить, способно ли при определенных условиях материальное тело *не иметь объема*? Точнее, не занимать объема в пространстве-времени и проявлять себя лишь полем тяжести? Куда девается это вещество? Оказывается в *иной Вселенной*? Вот к каким безумным идеям приводит необходимость устранить конкретное противоречие.

Но может быть, нужно изменить не теорию строения вещества, а общую теорию относительности? Ведь эта теория – классическая, квантовых эффектов она не учитывает. Гравитоны – кванты тяготения – вовсе не продукт общей теории относительности. Они придуманы по аналогии с квантовой механикой, в эйнштейновской теории их нет. А между тем, если вещество очень сильно сжато, квантовые эффекты учитывать необходимо. В нашем примере нужно сжать звезду до размеров, меньших, чем размер электрона. Существовать при такой плотности звезда не может – мы уже говорили, что это лишь мгновенная фаза безграничного сжатия. Но погодите! Ведь именно на этой фазе коллапса общая теория относительности перестает действовать, как перестает действовать всякая классическая теория, когда мы вторгаемся в мир элементарных частиц. А квантовая теория тяготения даже и сейчас находится в зачаточном состоянии. Может быть, когда она будет разработана, окажется, что сжатие звезды все же останавливается? Физикам это необыкновенно интересно, поскольку речь идет о проникновении в самые сокровенные тайны материи...

### **Как устроены нейтронные звезды?**

В 1959 году, через год после выхода книги Дж. Уилера, американский астрофизик А. Камерон опубликовал статью о строении нейтронных звезд. Это была первая успешная попытка спасти нейтронные звезды для астрофизики. А. Камерон сделал естественный шаг, на который, однако, никто не решался в течение двадцати лет. Он предположил, что нейтронная звезда состоит вовсе не из идеального газа. Вспомните работу Р. Оппенгеймера и Дж. Волкова. Они доказывали, что нейтронные звезды в принципе могут существовать. Поэтому, а также для упрощения и без того сложных вычислений, они решили описать

звезду, состоящую из газа невзаимодействующих друг с другом нейтронов. То есть – из идеального газа.

Само название говорит о том, что такой газ – абстракция, такая же, как абсолютно черное тело. Реальные молекулы, атомы, элементарные частицы обязательно взаимодействуют друг с другом. В классическом газе действуют силы Ван-дер-Ваальса. В вырожденном сверхплотном газе нейтронов – ядерные силы отталкивания. Ядерные силы отличаются тем, что проявляют себя лишь на очень коротких расстояниях, сравнимых с размерами атомных ядер. Но ведь в нейтронных звездах такие плотности, что расстояния между соседними нейтронами сравнимы с ядерными размерами. Значит, между нейтронами *должны* действовать ядерные силы отталкивания. Эти силы тоже, как и давление вырождения, действуют *против* тяжести, не позволяя нейтронам слишком близко сближаться друг с другом. Этот вид внутреннего давления учел А. Камерон. И оказалось, что ядерные силы в такой сверхплотной звезде, как нейтронная, расталкивают вещество ничуть не хуже, чем давление вырожденных ферми-частиц. Камерон получил новое значение для максимальной массы нейтронной звезды: две массы Солнца. Больше предельной массы белого карлика. Так нейтронные звезды были спасены для астрофизики. Более того, Камерон писал (спустя четверть века после Цвикки), что нейтронные звезды возникают, вероятно, при взрывах сверхновых.

Вслед за В. Бааде и Ф. Цвикки А. Камерон снова упоминал южную звезду в Крабовидной туманности. Почему? Ведь астрофизики уже доказали, что эта звезда не может отвечать за излучение Краба. Ученый писал о другом: южная звезда, по его гипотезе, может быть ответственна за периодические возмущения в туманности. Помните «жгуты»?

По идее, нейтронная звезда – мертвое тело. Запасов ядерного горючего в ней нет. Не идут ни реакции синтеза, ни, тем более, реакции распада. Единственный вид энергии, запасенный в нейтронной звезде, это тепловая энергия. А. Камерон прекрасно понимал, что в момент образования нейтронная звезда никак не может быть холодной. Ведь шар звезды сжимается от размеров, которые ненамного меньше солнечных, до радиуса всего в 10-20 километров! Любой газ при сжатии нагревается. За время коллапса это тепло вряд ли успеет излучиться. Так что новорожденная нейтронная звезда должна быть нагрета до миллиардов градусов!

Правда, при такой температуре нейтронный газ еще не вырожден. Вырождение наступает, если температура не превышает нескольких миллионов градусов. Миллион градусов – очень много для обычной звезды, но не для нейтронной. Граничная энергия Ферми для вырожденного газа нейтронов соответствует примерно этим температурам. И если температура в недрах нейтронной звезды падает хотя бы до нескольких сотен тысяч градусов, ее можно принять равной нулю – никакого влияния на структуру звезды эта оставшаяся теплота не оказывает, звезду можно считать абсолютно холодной. Понятия о жаре и холоде весьма относительны...

Допустим, что в момент рождения нейтронная звезда была нагрета до десяти миллиардов градусов. Ее тепловая энергия составляла  $2 \times 10^{51}$  эрг. Для сравнения: запас тепла в Солнце в 10 тысяч раз меньше. Казалось бы, нейтронная звезда долго должна оставаться горячей. Но этого не происходит. Ведь величина излучения пропорциональна четвертой степени температуры. Шар размером 10 км, нагретый до 10 миллиардов градусов, излучает каждую секунду около  $7 \times 10^{44}$  эрг. Значит, всего запаса тепла нейтронной звезде хватит на 3 миллиона секунд – около месяца!

Последующие расчеты показали, что нейтронная звезда остывает еще быстрее. После взрыва, породившего Крабовидную туманность, прошло почти тысячелетие. Температура нейтронной звезды, если она там образовалась, давно упала до того самого миллиона градусов, когда нейтронную звезду можно уже считать холодной. Так что А. Камерон не ошибся в расчетах.

Но остывшая нейтронная звезда и вовсе не обладает никакой энергией! Ей *ничем* поддерживать активность Крабовидной туманности. А. Камерон был проницательным

ученым, он вслед за Ф. Цвикки считал, что южная звезда в Крабовидной туманности – нейтронная.

И тут А. Камерон подошел к противоречию, из которого могло родиться открытие. Южная звезда *должна быть* ответственной за излучение Крабовидной туманности (должен существовать источник этой активности!), но она *не может быть* ответственной за излучение (в нейтронной звезде нет источников энергии). Это противоречие между теорией нейтронных звезд и наблюдениями Крабовидной туманности. Это противоречие можно разрешить или изменив теорию (это приведет к научному изобретению), или объявив неверными наблюдения (это уже пахнет предсказанием открытия). А. Камерон не видел изъяна ни в теории, ни в наблюдениях, он пошел по самому простому пути: разрешил противоречие частично, сказав, что нейтронная звезда все же обладает *небольшим* запасом энергии (ведь она остыла не до абсолютного нуля). Этого запаса недостаточно для объяснения свечения всей туманности, но хватит, чтобы объяснить образование и исчезновение таинственных «жгутов», так удививших Р. Минковского.

Не нужно обвинять А. Камерона в недалекости! Он был первым, кто после долгого перерыва взялся за исследование нейтронных звезд. Он первым правильно определил их максимальную массу (даже в наши дни эта величина – 2 массы Солнца – считается наиболее вероятной, а ведь после А. Камерона были проделаны сотни расчетов). И наконец, А. Камерон был первым, кто сказал: нейтронная звезда не является абсолютно мертвым телом.

Работа А. Камерона вышла из печати два года спустя после «Морфологической астрономии», в которой Ф. Цвикки изложил свой метод направленной интуиции и описал предсказанные им нейтронные звезды. А. Камерон читал работу своего коллеги, но методом не воспользовался. Иначе он обязательно сделал бы вывод, который три года спустя вскользь был упомянут в статье советских астрофизиков В.А. Амбарцумяна и Г.С. Саакяна.

Камерон не задал вопрос: как должна выглядеть для наблюдателя нейтронная звезда? В физике есть закон излучения Вина: чем больше нагрето тело, тем более короткие волны оно излучает. Солнце нагрето до 6 тысяч градусов и представляется нам желтым. Температура белых карликов в несколько раз выше – они бело-голубые. А нейтронная звезда, температура которой может достигать и миллиона градусов, будет испускать уже не оптические, а мягкие рентгеновские лучи. Напиши Камерон об этом, и он предвосхитил бы появление рентгеновской астрономии. Тогда открытие в 1962 году первого рентгеновского источника за пределами Солнечной системы было бы не случайным, а стало бы следствием планомерного поиска. А. Камерон об этом не написал, а работа В.А. Амбарцумяна и Г.С. Саакяна вышла из печати уже *после* открытия рентгеновских космических источников. Предсказание открытия не состоялось.

Работы В.А. Амбарцумяна и Г.С. Саакяна, опубликованные в начале шестидесятых годов прошлого века, были попыткой примирить идею о дозвездных взрывающихся Д-телах, из которых рождаются звезды, с современной физикой – теорией строения вещества и теорией тяготения.

Амбарцумян и Саакян тоже имели дело с противоречием. Сверхплотные тела *должны* быть массивны (ведь из одного Д-тела образуются сотни звезд в ассоциациях!), и они *не могут быть* массивны (так утверждает теория строения сверхплотных звезд). Как быть? Может, в сверхплотных телах все же действуют силы отталкивания, способные противостоять силе тяжести, которая значительно больше той, что «правит бал» в нейтронных звездах А. Камерона?

Сначала казалось, что найти такую силу можно. В звездах, рассчитанных А. Камероном, отталкивание создают ядерные силы, действующие между нейтронами. А что, если взять более тяжелые частицы? Ведь между тяжелыми частицами – их называют гиперонами – и силы отталкивания больше. Звезды, описанные В.А. Амбарцумяном и Г.С. Саакяном, были гиперонными звездами. В их центральных областях вместо нейтронного газа был газ из более тяжелых частиц – гиперонов. Чем больше силы отталкивания, тем более массивной могла бы быть звезда. Могла бы, но не стала. Максимальная масса гиперонной звезды, по

расчетам В.А. Амбарцумяна и Г.С. Саакяна, оказалась равной всего 1 массе Солнца! Даже меньше, чем предельная масса нейтронной звезды А. Камерона.

Вот что писали в 1961 году В.А. Амбарцумян и Г.С. Саакян: «Можно ли для гиперонных звезд получить массы, во много раз превышающие массу Солнца, если подходящим образом выбрать функцию потенциала отталкивания? Для статических конфигураций ответ отрицателен. Проведенные нами расчеты убеждают, что при разумном выборе радиуса действия сил отталкивания, независимо от их интенсивности, невозможно получить статические конфигурации с большими массами».

Итак, противоречие было разрешено в пользу теории. Термин «гиперонные звезды», однако, все же не прижился. Дело в том, что гипероны существуют лишь вблизи центра звезды. Даже гиперонная звезда В.А. Амбарцумяна и Г.С. Саакяна состоит, в основном, из нейтронов.

Почему это так? И почему вообще в нейтронной звезде могут образоваться гипероны? Посмотрим, как, по современным представлениям, меняется структура сверхплотной звезды по мере ее сжатия.

Средняя плотность белого карлика – одна тонна в кубическом сантиметре. Если массу белого карлика увеличивать, сила тяжести будет расти быстрее, чем давление вырожденного электронного газа. Поэтому размер звезды уменьшится, а значит – плотность и давление возрастут. Когда плотность достигнет  $10^5$  т/см<sup>3</sup>, начнется процесс нейтронизации вещества. Электроны движутся так быстро, величина их Ферми-энергии оказывается такой большой, что электроны обретают способность пробить потенциальный барьер сил отталкивания и соединиться с протоном. Из слившихся протона и электрона возникает нейтрон. Если после этой реакции остается излишек энергии, его уносит нейтрино. Этот процесс и называется нейтронизацией вещества.

Почему реакция идет лишь при очень высоких плотностях? Дело в том, что нейтрон на 0,14% массивнее протона. Значит, чтобы из протона мог образоваться нейтрон, протон должен получить дополнительную массу-энергию. Откуда эта энергия берется? Ее приносит электрон. Но откуда взяться такой энергии у электрона – ведь он «легче» протона почти в 1840 раз, его масса составляет лишь около 0,05% массы протона. Вот если бы массу электрона увеличить втрое... Это можно сделать – нужно разогнать электрон до субсветовой скорости. Столь быстрые электроны существуют в вырожденном электронном газе, сжатом до плотности, в  $10^5$  раз большей, чем плотность обычного белого карлика. Только в этом случае электрон может столкнуться с протоном, и тогда вместо двух частиц – протона и электрона – образуются две другие: нейтрон и нейтрино. Если звезду сжать еще сильнее, то энергия (скорость) электронов может стать больше предела, необходимого для нейтронизации. Избыток энергии уносят возникающие при нейтронизации нейтрино. Очевидно, что чем больше избыток энергии у электронов, тем большую энергию уносит каждое нейтрино.

Уже при плотности  $10^8$  т/см<sup>3</sup> большая часть электронов захватывается протонами, большая часть протонов превращается в нейтроны – образуется нейтронная звезда. А если звезду сжать еще сильнее? Тогда энергии электронов хватит не только на образование нейтронов, но достаточно даже для рождения более тяжелых частиц – гиперонов. Плотность вещества звезды максимальна в ее центре, значит, и гипероны начинают появляться сначала именно в центральных областях нейтронной звезды. По мере дальнейшего сжатия звезды гиперонное ядро увеличивается, и, казалось бы, должен наступить момент, когда «гиперонная опухоль» захватит все тело звезды. Но этого не происходит, и вот почему. Едва возникает небольшое гиперонное ядро, устойчивость звезды теряется окончательно и бесповоротно. Сила тяжести увеличивается настолько (ведь сжатие звезды происходит из-за увеличения ее массы), что никакое давление не может ей противостоять. Катастрофический коллапс наступает, прежде чем «гиперонная опухоль» успеет сколько-нибудь разрастись.

Итак, в начале шестидесятых годов прошлого века многие современные представления о сверхплотных звездах уже сложились. Во-первых, стало ясно, что никакая статическая

сверхплотная звезда не может быть массивнее, чем примерно две массы Солнца. Во-вторых, стало ясно, что нейтронная звезда вовсе не является шариком из нейтронов. Структура ее гораздо сложнее. В центре находится небольшое ядро, состоящее, как тогда предполагали, из гиперонов. Плотность ядра выше, чем миллиард тонн в кубическом сантиметре! Основную долю массы звезды составляет нейтронная жидкость, обладающая весьма необычными свойствами. Например, она сверхтекуча. Вот парадокс! На Земле с трудом удастся получить сверхтекучие жидкости – приходится охлаждать вещество почти до абсолютного нуля, до  $-273$  градусов Цельсия. А в недрах нейтронной звезды температура достигает сотен тысяч или миллионов градусов, и все же нейтронная звезда сверхтекуча. Но это естественно – при сверхвысокой плотности сотня тысяч градусов все равно, что нуль...

Ближе к поверхности звезды в нейтронной жидкости появляется примесь из ядер железа и вырожденного электронного газа. Эта область похожа по своей структуре на белый карлик, там и плотность такая же, около тонны в кубическом сантиметре. А еще выше, у самой поверхности, тонкая твердая корка из обычного невырожденного вещества.

В принципе, эта модель нейтронной звезды считается правильной и сегодня – с некоторыми поправками, конечно, причем поправки зависят от начальных предположений теоретиков, производящих расчет структуры звезды. Проблема в том, что проверить правильность этих теоретических моделей нет пока никакой возможности.

Согласно одной из моделей, в ядре нейтронной звезды находятся не гипероны (как в звезде Амбарцумяна и Саакяна), а так называемый пионный конденсат – отрицательно заряженные пионы. В третьей модели все, как и в первых двух, но ядро состоит из отрицательных ка-частиц (каонов). В четвертой модели в глубине нейтронной звезды можно встретить таинственные частицы кварки.

Как разобраться, которая из моделей правильна? Возможно, что правильны – при соответствующих условиях – все (или многие) модели. Возможно, есть нейтронные звезды с кварковым ядром (их называют странными звездами), и нейтронные звезды с каоновыми ядрами, и с ядрами пионными... Как наблюдатель с Земли сможет отличить одну нейтронную звезду от другой?

### **Небо в рентгеновских лучах**

Для того чтобы опознать нейтронную звезду, обладающую какими-либо из описанных выше особенностей, нужно ее вскрыть и заглянуть внутрь. Астроном-наблюдатель не может этого сделать, для него важны внешние проявления: можно ли по каким-то внешним признакам отличить нейтронную звезду от белого карлика или одну нейтронную звезду от другой? Теория в начале шестидесятых годов прошлого века рассказывала и о внешних проявлениях – в наиболее простой интерпретации. К примеру, если температура на поверхности звезды превышает миллион градусов, то такая звезда должна быть источником рентгеновского излучения.

Рентгеновское излучение из космоса действительно было обнаружено. Вскоре после второй мировой войны в небо поднялись первые мирные ракеты с гейгеровскими счетчиками на борту. Они изучали рентгеновское излучение Солнца. Пятнадцать лет велись такие исследования, и никто даже не предполагал, что на небе, кроме Солнца, могут быть другие источники рентгеновского излучения. Да и как могло такое прийти в голову? Солнце, как и любая подобная звезда, лишь миллионную долю своего полного излучения отдает в рентгеновский диапазон. Приборы были способны в те годы обнаружить рентгеновский поток от Солнца только потому, что до светила «рукой подать». Ближайшая звезда – Проксима Центавра – в сотни тысяч раз дальше от Земли, чем Солнце. Значит, поток рентгеновского излучения от Проксимы Центавра должен быть слабее солнечного в миллиарды раз. Все понимали, что нет никакой возможности такое излучение обнаружить.

Правда, существуют в природе звезды более горячие, чем Солнце. По теории, максимум излучения звезды попадает в рентгеновскую область, если температура на поверхности



достигает миллиона градусов. А температура обычной звезды (на так называемой главной последовательности звезд) тем больше, чем больше ее масса. Сириус втрое массивнее Солнца и вдвое горячее его. Для того, чтобы звезда оказалась в сотни раз горячее Солнца, масса ее должна составлять сотни солнечных масс. Такие массивные звезды вряд ли существуют в природе. Если бы по какой-то причине образовалась звезда с массой, например, 200 масс Солнца, она была бы мгновенно разорвана внутренним давлением (тот случай, когда газовое давление превосходит гравитацию!). Ну, а поскольку таких звезд нет, то и искать рентгеновское излучение, не связанное с Солнцем, нет смысла. Его и не искали.

В возможность открытия рентгеновского излучения других звезд не верили настолько, что считали: скорее уж можно зарегистрировать рентгеновское излучение Луны! Луны, которая холодна и светит отраженным светом Солнца. Но дело в том, что Луну постоянно бомбардируют потоки космических лучей. До Земли первичные космические лучи не долетают – мешает магнитное поле. На Луне же магнитного поля практически нет. Быстрые частицы врезаются в лунные породы, отдают свою энергию, заставляют поверхность Луны флуоресцировать. Примерно так, как испускала рентгеновские лучи трубка Крукса в том знаменитом опыте, когда К. Рентген обнаружил икс-лучи, получившие затем его имя. Эту рентгеновскую флуоресценцию Луны и хотели обнаружить американские ученые из группы Б. Росси, запустившие 18 июня 1962 года ракету типа «Аеробее» в верхние слои атмосферы. Обнаружить свечение Луны не удалось, но неожиданно был зарегистрирован сильный рентгеновский источник, расположенный в области неба, близкой к направлению на центр Галактики. Ничего больше о новом источнике, однако, тогда узнать не удалось.

Начали готовить следующий запуск. Новые счетчики могли локализовать источник на небесной сфере – если его удастся вновь обнаружить – с точностью до двух-трех угловых градусов. Для начала шестидесятых годов прошлого века это была неплохая точность. Полет состоялся год спустя. Ракета подняла счетчики на высоту 500 км. Напряженное ожидание – ведь миновал год после первого полета! – оказалось не напрасным. Источник был зафиксирован вновь. Удалось определить, что он находится в созвездии Скорпиона. И вот что удивительно! Во время второго полета приборы обнаружили еще один источник, и расположен он был в направлении на Крабовидную туманность. Опять Краб, в который уже раз доказавший свою уникальность!

Теперь предстояло выяснить, что же излучает – вся туманность или знаменитая южная звезда? Дело в том, что спектр синхротронного излучения Крабовидной туманности совершенно не похож на обычный спектр нагретого газа. Быстрые электроны, если уж каким-то образом они образуются в туманности и излучают в оптическом диапазоне, могут, в принципе, давать и более жесткое излучение – ультрафиолетовое и даже рентгеновское.

### **Затмение Краба**

Идею проверки предложил И.С. Шкловский. 7 июля 1964 года должно было произойти довольно редкое событие – Луна, перемещаясь вдоль эклиптики, должна была затмить собой Крабовидную туманность. Приборы того времени не обладали достаточной разрешающей способностью, и с их помощью невозможно было получить изображение туманности в рентгеновском диапазоне. Невозможно было и выделить излучение южной звезды. Но представьте, что к туманности по небу приближается Луна. Если рентгеновским источником является не туманность, а южная звезда, то Луна закроет ее мгновенно, и рентгеновское излучение мгновенно исчезнет. Если же излучает вся туманность, то источник начнет ослабевать постепенно, по мере того, как Луна будет наползать на туманность. Наконец, когда Луна полностью закроет туманность, источник погаснет. Полное затмение должно продолжаться 12 минут, затем источник появится вновь.

Ракета «Аеробее» стартовала в срок, а на земле у приборов ученые с волнением ждали начала затмения. Эксперимент был сложным. Ведь наблюдения с борта ракеты непродолжительны – только в течение пяти минут ракета находится на нужной высоте над

Землей, а затмение продолжается 12 минут. Ракету нужно было запустить с таким расчетом, чтобы обязательно захватить центральную фазу затмения, тот момент, когда Луна закроет южную звезду. В момент включения прибора на высоте 100 км скорость счета фотонов составляла 300 импульсов в секунду. Скорость счета плавно уменьшалась, и две минуты спустя источник исчез. Стало ясно: излучает не южная звезда, а вся туманность! Следовательно, ее синхротронный спектр простирается до рентгеновского диапазона.

Тогда с новой силой дало о себе знать старое противоречие. В туманности обязательно *должен быть* инжектор релятивистских электронов (ведь это они излучают в рентгеновском диапазоне, двигаясь в магнитном поле Крабовидной туманности). Но в туманности *нет* такого инжектора. Это противоречие между наблюдениями и интерпретацией. Либо неверна интерпретация излучения Крабовидной туманности синхротронным механизмом, либо нужно искать источник быстрых частиц. Никто в те годы уже не ставил под сомнение идею о синхротронном излучении туманности. В пользу этой гипотезы говорил не только вид спектра, но и тот факт, что в радио и оптическом излучении Краба была обнаружена поляризация, а это свойственно именно синхротронному излучению. Итак, нужно было искать *источник*.

Нагревать туманность и снабжать ее быстрыми электронами могло лишь нечто, расположенное в самой туманности. А в ней не обнаружили пока ничего, кроме южной звезды! И не было никаких доказательств того, что южная звезда – нейтронная. Впрочем, даже если бы удалось найти какие-то веские аргументы в пользу такого предположения, это еще не могло разрешить противоречия. Крабовидная туманность ежесекундно излучает во всех диапазонах электромагнитных волн больше  $10^{37}$  эрг – в тысячи раз больше полного излучения Солнца. В нейтронной звезде никто не предполагал наличия таких мощных источников энергии. Откуда им было взяться в мертвом и остывшем теле?

Астрофизики были уверены, что нейтронная звезда, горячая в момент образования, быстро остывает и из полумертвого тела становится окоченевшим трупом, которому одна дорога – на звездное кладбище. Однако, даже это было прогрессом в представлениях, ведь десятью годами раньше астрофизики и вовсе не верили в нейтронные звезды! А. Камерон сказал: может быть, нейтронная звезда хоть немного активна? Хотя бы для объяснения «жгутов»?.. В 1963 году американский астрофизик Дж. Бербидж – прекрасный наблюдатель и теоретик – писал, что источником *небольшой* активности нейтронной звезды могут быть радиоактивные изотопы, которые образовались в момент взрыва сверхновой и не «улетели» в пространство вместе с оболочкой. Конечно, и эта идея не объясняла, почему излучает туманность. Загадка оставалась. Нужна была более радикальная идея, но прежде предстояло сломать общее представление о нейтронных звездах, как о мертвых телах.

### Магия слов

Великая психологическая инерция скрывается в магии слов. Мертвая звезда. Мертвое тело, следствие гибели звезды. Слова гипнотизируют больше, чем нам порой кажется. Мы думаем – большое ли дело название, на ход рассуждений оно не влияет. Не влияет, если название бессмысленное. Как, например, сверхновые. Это лишь обозначение, физического смысла в нем нет. Но *мертвая* звезда...

Изобретатели, кстати, тоже сталкиваются в своей работе с такой же проблемой. Но они, в отличие от ученых, уже придумали, как справляться с магией слов. В решении изобретательской задачи первый шаг – формулировка условия без каких бы то ни было специальных терминов. К сожалению, в научной работе и этот способ не привился. Напротив, ученые уверены в том, что без соответствующей терминологии задачу вообще невозможно сформулировать. А между тем, сами термины начинают подталкивать наше сознание в определенном направлении. И часто – не в ту сторону, где лежит решение. Приведу примеры из техники, а потом вернемся к мертвым нейтронным звездам.

Как-то группе инженеров было предложено перекинуть через глубокую и широкую пропасть трубопровод, по которому предстояло перекачивать нефть. Задача казалась неразрешимой – как ни увеличивали сечение трубы, все равно она начинала при определенной длине изгибаться и ломаться. Возможно, задачу так бы и не решили, но тут какой-то умный инженер догадался выбросить из условия задачи слово «трубопровод». Нужно перебросить через пропасть некую «штуку» и по ней качать нефть. Решение пришло сразу. Нужно сделать эту «штуку» в форме двутавровой балки, которая обладает большим запасом прочности на изгиб. Не нужна труба, нужно сделать полый двутавр...

Еще пример. Десятки лет льды Арктики штурмуют мощные ледоколы, и столько же лет инженеры бьются над совершенствованием их конструкции. Но дело движется с трудом, потому что все сводится к увеличению мощности двигателя и усилению корпуса – *колоть* лед с большей силой. Такова магия названия – ледокол. Нужно было избавиться от нее, чтобы предложить идею корабля, состоящего из двух частей, – верхней, которая находится над льдом, и нижней, расположенной под льдом. А соединены эти половинки узкими параллельными стенками, которые, будто лезвия острых ножей, режут лед. Вовсе не нужно протискивать сквозь лед всю махину корабля – только узкие лезвия легко проходят насквозь, а сам корабль (можно ли назвать его ледоколом?) движется над и под льдом.

Таких примеров магии слов в технике множество. Есть они и в науке.

Впрочем, общее представление о нейтронных *мертвых* звездах, казалось, подтверждалось и фактами. Речь идет о звездах рентгеновских.

### **Рождение рентгеновской астрофизики**

Открытие источника излучения в созвездии Скорпиона, а затем в Крабовидной туманности привело к рождению нового направления исследований: рентгеновской астрофизики. К середине 1964 года было открыто около 20 космических рентгеновских источников. Все они, кроме Крабовидной туманности, оказались переменными – уже одно это говорило в пользу звездной природы объектов. За время, прошедшее между полетами ракет, рентгеновские источники меняли свою яркость в два-три раза. Это означает, что размеры излучающей области не очень-то велики и сравнимы скорее всего с размерами звезд. Но обычные звезды, как мы уже говорили, в рентгеновском диапазоне практически не излучают. Значит, остаются звезды компактные, то есть нейтронные. Как может нейтронная звезда быть рентгеновским источником? Это понятно – если она еще не успела остыть, и температура ее поверхности превышает миллион градусов. О какой-то иной активности и речи не было. Общее мнение было вполне определенным: нейтронные звезды способны только остывать, и если рентгеновские источники могут быть нейтронными звездами, то только остывающими.

Казалось бы, это предположение очень легко проверить. У горячего непрозрачного тела (в том числе – у звезды) очень специфическое распределение энергии в спектре излучения – такой спектр называется излучением черного тела. Значит, достаточно запустить ракету, измерить, сколько излучает источник в разных диапазонах, и... И ничего бы не получилось. Точность измерений в то время еще не позволяла сказать надежно, какой именно спектр наблюдается. Это мог быть спектр и черного тела, и горячей прозрачной плазмы, и спектр синхротронного излучения электронов, как в Крабовидной туманности. У интерпретаторов была полная свобода выбора. А интерпретировать наблюдения было проще всего, если предположить, что источник излучает, как черное тело. В этом случае не нужно было искать новых объяснений.

Так получилось, что первым свойством нейтронных звезд, которое было исследовано теоретически, было свойство их остывания. В начале шестидесятых годов прошлого века были опубликованы десятки работ, и выяснилось, что нейтронная звезда остывает очень быстро, лет за десять после образования ее температура уменьшается до сотен тысяч

градусов. А при такой температуре нейтронная звезда уже не может быть источником рентгеновского излучения.

К тому же выяснилось еще одно обстоятельство. Двадцать обнаруженных рентгеновских источников располагались на небе преимущественно в направлении на центр Галактики. Из этого следовало, что расстояние до них в среднем сравнимо с расстоянием до галактического центра. Действительно, если бы источники находились значительно ближе к Земле, чем центр Галактики, то их с равной вероятностью могли бы наблюдать во всех направлениях на небе, кроме разве что высоких галактических широт, где звезд вообще мало. А расстояние до центра Галактики велико, около 10 кпс. Чтобы рентгеновский источник на таком расстоянии имел наблюдаемую интенсивность, он должен ежесекундно излучать до  $10^{38}$  эрг! В десятки тысяч раз больше, чем излучает Солнце во всех диапазонах. Может ли излучать так много горячая нейтронная звезда? Не может. Даже нагретая до 10 миллионов градусов нейтронная звезда будет излучать лишь  $6 \times 10^{36}$  эрг/с. К тому же, такая высокая температура держится в нейтронной звезде очень недолго. Возникает противоречие: горячих нейтронных звезд должно наблюдаться очень мало, на самом деле число рентгеновских источников уже в 1965 году перевалило за два десятка. Реальное же число могло достигать и сотен – ведь, запуская ракеты, ученые осматривали небольшие участки неба...

Противоречие между наблюдениями и интерпретацией: либо рентгеновские источники вовсе не такие мощные, как кажется, либо это не горячие нейтронные звезды. А что же тогда?

#### **Четыре способа обнаружения нейтронных звезд**

*Внутри* нейтронной звезды, как полагали астрофизики, нет других источников энергии, кроме тепловых. Значит, нужно искать источники *внешние*. Что-то, находящееся вне нейтронной звезды и способное сообщить ей энергию.

Вне нейтронной звезды – космос, пространство, заполненное межзвездным газом. Местами газ собирается в довольно плотные облака, в газовые туманности. Если в облаке оказывается яркая голубая звезда, она освещает облако будто прожектор. Более того, излучение горячей звезды ионизует водород, из которого состоит облако, водород начинает светиться, и мы наблюдаем яркие диффузные туманности. А если горячей звезды поблизости нет, газ не светится, и мы видим черные провалы, сквозь которые с трудом проникает свет далеких звезд. Газа в Галактике немало – около десятой доли массы всей нашей звездной системы. Однако средняя плотность этого газа невелика – всего одна частица в  $\text{см}^3$ ! Чем может помочь эта непустая пустота?

На этот вопрос ответил в 1964 году Я.Б. Зельдович, с именем которого связано развитие релятивистской астрофизики в СССР. Пусть в межзвездном газе движется нейтронная звезда. Она притягивает все вокруг, в том числе, конечно, и частицы газа. Газ начинает падать на звезду, достигает ее поверхности, и накопленная при падении кинетическая энергия выделяется в виде тепла. Газ нагревается и излучает. Вот и источник энергии.

О том, что звезды в принципе могут захватывать газ из межзвездного пространства, было известно и раньше. Такой процесс называется аккрецией. Как-то даже предлагали аккрецию для объяснения, почему светят звезды. Было это, конечно, до открытия ядерных источников звездной энергии. Расчеты показали, однако, что звезда захватывает слишком мало вещества, объяснить с помощью аккреции свечение звезд совершенно невозможно.

Но сейчас речь идет не об обычных звездах, а о нейтронных. Частица, достигшая поверхности нейтронной звезды, обладает кинетической энергией в 20 тысяч раз большей, чем такая же частица, упавшая на Солнце. При аккреции межзвездного газа на нейтронную звезду на каждый грамм падающего вещества выделяется в 20 тысяч раз больше энергии, чем при аккреции на звезду обычную. Теоретики подсчитали, что звезда с массой, равной массе Солнца, ежесекундно может захватить из межзвездного пространства около

миллиарда тонн вещества. По нашим земным меркам это очень много. Но давайте считать дальше. Если все это вещество упадет на Солнце, выделится около  $10^{30}$  эрг энергии. Это в 4 тысячи раз меньше, чем Солнце в действительности излучает. Значит, излучение Солнца аккрецией никак не объяснить. А теперь вернемся к нейтронной звезде. Миллиард тонн вещества, упавший на ее поверхность, выделит до  $10^{35}$  эрг энергии.

Это много, но все равно недостаточно. Светимость рентгеновских источников, как мы видели, может быть в сотни раз больше. Нужно учесть, однако, что выше речь шла об аккреции «обычного» межзвездного газа с плотностью одна частица в кубическом сантиметре. Но ведь в Галактике много плотных газовых облаков, где в каждом кубическом сантиметре находятся сотни и тысячи атомов! Пропорционально возрастает величина аккреции, увеличивается рентгеновская светимость источника...

Все это так, но – в идеальном случае, когда, например, звезда не движется относительно межзвездного газа. Но ведь так не бывает – все звезды перемещаются, и собственные (как говорят астрофизики – пекулярные) их скорости достигают обычно нескольких десятков километров в секунду. Чем быстрее движется звезда, тем меньше газа она успевает захватить. Разумеется, сказанное относится и к обычным звездам, и к нейтронным. Простые расчеты показали, что релятивистская звезда солнечной массы не в состоянии захватить столько вещества, чтобы обеспечить светимость даже  $10^{35}$  эрг/с, не говоря о более высокой. Скорее всего, нейтронная звезда, движущаяся в межзвездном газовом облаке, излучает в результате аккреции вещества всего лишь около  $10^{30}$  эрг/с. Обнаружить такой слабый источник в середине шестидесятых годов нечего было и пытаться...

Но, может быть, существуют другие способы обнаружения нейтронных звезд? Применим морфологический метод – построим морфологическую таблицу, куда включим все возможные свойства нейтронных звезд и все внешние тела и процессы.

Во-первых, нейтронная звезда проявляет себя силой тяжести. Во-вторых, если она нагрета, то проявляет себя тепловым излучением. В-третьих... Пожалуй, все. Во всяком случае, все, если представить себе, что мы знаем о нейтронных звездах столько, сколько знали о них ученые больше сорока лет назад.

Не много. Попробуем другую ось. Что находится вне нейтронных звезд? Во-первых, межзвездный газ. Во-вторых, другие звезды – обычные...

Достаточно. Таблица почти пуста, а неплохая идея уже найдена. Вспомним открытие белого карлика – спутника Сириуса. Так же можно поступить и сейчас, только с еще большими шансами на успех. Представьте, что спутником Сириуса является нейтронная звезда, а не белый карлик. В телескопы мы ничего не увидим – в отличие от белого карлика, нейтронная звезда быстро остывает. Однако, пользуясь законами небесной механики, мы могли бы определить массу невидимого тела в системе Сириуса и сказали бы: вот странная звезда. Масса ее больше, чем масса самого Сириуса, но мы ее почему-то не видим! А между тем, звезда должна светить тем ярче, чем она массивнее. Значит, мы обнаружили необычную звезду. Но и не белый карлик – слишком велика масса невидимого объекта. Остается одно – объявить, что в системе Сириуса находится звезда сверхплотная. Та, которую мы ищем.

Описанный метод поиска нейтронных звезд и черных дыр в двойных системах был предложен Я.Б. Зельдовичем и О.Х. Гусейновым в 1965 году. В том же году Я.Б. Зельдович и И.Д. Новиков сделали еще одно интересное заключение. Представьте опять двойную систему, состоящую из обычной и сверхплотной звезд. Обычные звезды теряют вещество – существует, например, звездный ветер, как у Солнца. Но Солнце «худеет» очень медленно. В двойной системе звезда способна терять вещество значительно быстрее. Это вещество – точнее, его часть – захватывается полем тяжести соседней сверхплотной звезды. Такой процесс эффективнее процесса аккреции межзвездного газа – ведь вещества в двойной системе значительно больше, чем в межзвездном пространстве. Значит, нейтронная звезда или черная дыра в двойной системе могут стать рентгеновскими источниками большой яркости!

Итак, вот уже несколько способов обнаружения нейтронных звезд. Первый – горячие нейтронные звезды. Второй – нейтронные звезды, заглатывающие межзвездный газ. Третий – нейтронные звезды в двойных системах.

Добавим еще один способ. В 1964 году Я.Б. Зельдович и О.Х. Гусейнов обратили внимание на то, что в момент смерти звезды, когда идет процесс коллапса и когда из протонов и электронов рождаются нейтроны, в пространство уходит мощный импульс нейтринного излучения.

Одно время бытовало мнение, что когда умирает человек, мозг его испускает последний сигнал, символизирующий смерть, – мощный всплеск мозгового излучения неизвестной природы. Этот гипотетический сигнал был назван некробиотическим. Существует ли в действительности некробиотическое излучение – никто не знает. Вероятнее всего, что нет. Но когда умирает звезда, когда коллапс сжимает ее тело, когда вещество в агонии валится к центру, – в этот смертный миг звезда испускает некробиотический сигнал, который можно уловить приборами на огромных расстояниях. Процесс нейтронизации длится доли секунды – столько же продолжается и всплеск нейтринного излучения. Зафиксировать такой всплеск на Земле очень трудно, но это трудности технического характера. Нужны мощные нейтринные ловушки. Нужно и изрядное везение – всплеск длится мгновение, и неизвестно, когда его ждать...

Ежегодно астрономы обнаруживают несколько вспышек сверхновых – несколько звездных смертей. Но все эти трагедии происходят в далеких галактиках, на таких больших расстояниях от Солнца, что никакие из современных ловушек не в состоянии уловить импульс нейтринного излучения. Единственный пока раз – в феврале 1987 года – астрономам повезло. 23 февраля в соседней карликовой галактике – Большом Магеллановом Облаке – умерла звезда. Произошло это в 7 часов 35 минут 35 секунд мирового времени. Именно тогда две группы нейтринных детекторов – одна в Камиока (Япония), другая вблизи от Кливленда (США) – зарегистрировали неожиданный всплеск нейтрино. В течение 13 секунд приборы отметили «прибытие» 11 нейтрино (точнее – антинейтрино). А вскоре, несколько часов спустя, и наблюдатели-оптики заметили на небе нечто неладное: в Большом Магеллановом Облаке появилась и начала ярко разгораться сверхновая. Впервые в истории астрономии люди уловили «некробиотический» сигнал звезды...

Мы, однако, так и не вырвались пока из плена общепринятых в начале шестидесятых годов прошлого века представлений о том, что нейтронная звезда – мертвое тело. Методы поиска, о которых шла речь, связаны с проявлением гравитационного поля нейтронной звезды, но не с ее внутренней активностью. Исключение – всплеск нейтринного излучения, но длится он недолго и возникает до образования нейтронной звезды, в процессе катастрофического коллапса. Потерпев временную неудачу с тепловым излучением нейтронной звезды, теоретики бросили все силы на поиск внешних источников энергии. Воображение буксовало – ведь все, кто занимался проблемой поиска нейтронных звезд, были первоклассными специалистами.

Это парадоксально, но противоречия в сказанном нет. Специалисту труднее преодолеть психологическую инерцию, связанную с господствующей точкой зрения. Чтобы быть храбрым, нужно либо усилием воли преодолеть страх, либо просто не знать, что впереди опасность. Все, кто занимался теорией нейтронных звезд, *знали*, что в этих звездах нет источников энергии. Это знание и служило тормозом для воображения...

### **Как тренировать воображение?**

Психологи и специалисты по теории творчества давно ищут способы активизации воображения. Мы уже говорили о мозговом штурме, синектике – это так называемые неалгоритмические методы. Они были созданы и использовались для решения изобретательских задач, но эффективнее их можно применить для развития творческого воображения. Тренировать фантазию нужно постоянно, иначе она «коллапсирует», и потом

ее все труднее пустить в свободный полет. Психологи установили, что самым богатым воображением обладают дети. Но багажа знаний у них нет, и им не к чему свое воображение приспособить – только к игре. А без приложения фантазия начинает сдавать, к тринадцати годам воображение уже катится по наклонной плоскости, да так и продолжает катиться по ней всю жизнь. Недаром в тех областях науки, где нужно особо богатое воображение, – математике, теоретической физике – наивысшие творческие достижения приходится на возраст 25-30 лет. Потом начинается творческий спад. Если бы воображение тренировали с детства, если бы приемам развития фантазии обучали в вузах, если бы в научно-исследовательских институтах ввели курсы упражнений по развитию творческого воображения!..

Возможно, вы читали фантастический рассказ Р. Джоунса «Уровень шума»? Это рассказ о роли творческой фантазии.

«Мы постоянно взрослеем, и по мере того, как мы учимся в школе и получаем образование, в наших фильтрах шума появляются ограничительные уровни, которые пропускают лишь ничтожную часть сведений, приходящих из внешнего мира и из нашего воображения. Факты окружающего мира отвергаются, если они не подходят к установленным уровням. Творческое воображение суживается».

Ученым – персонажам рассказа – предлагают создать антигравитационный двигатель. Все знают, что это невозможно, и, естественно, работа не двигается. Совсем, как в нашем случае – все знают, что нейтронные звезды мертвы, и потому не могут придумать ничего иного. В рассказе Р. Джоунса ученым показывают фильм об испытаниях реальной антигравитационной машины, приводят в дом, где жил погибший во время испытаний изобретатель. Ученых ставят перед фактом – антигравитация есть. Если кто-то смог решить задачу, почему бы и вам ее не решить? Под давлением факта стена психологической инерции падает, и за несколько дней ученый – герой рассказа – создает основы теории антигравитации. Новый двигатель сконструирован. Вот, что такое психологическая инерция!

Если бы и в нашем случае удалось поставить астрофизиков перед фактом – нейтронные звезды не мертвы, – то как развивались бы события?

Ученые любят фантастику. Чтение фантастики тренирует воображение. Фантасты в большинстве своем дилетанты в науке, но профессиональные выдумщики. Годами тренированное воображение помогает им при минимуме знаний в той или иной науке иногда предлагать интересные научные идеи. Сами ученые не любят в этом признаваться – это, по их мнению, ущемляет их профессиональную гордость. Но факт есть факт. Жюль Верн, Герберт Уэллс, Александр Беляев, Иван Ефремов, Генрих Альтов, Хьюго Генрсбек, Айзек Азимов, Артур Кларк придумали не меньше нового в науке, чем хороший научно-исследовательский институт. Им помогало воображение.

Полвека назад говорили: фантастика опережает науку. Сейчас ситуация радикально изменилась – в научной фантастике начала XXI века все меньше новых идей, а новые научные направления чаще описывают авторы научно-популярных книг (и делают это блестяще – см. книги С. Хокинга, Д. Грина, А. Азимова), чем авторы научно-фантастических произведений. Тому называют множество причин, одна из которых: фантастам за учеными просто не угнаться, современная наука стала слишком сложна, дилетантам не понять ее глубин, а значит, и придумать новую научно-фантастическую (и тем более – прогностическую) идею они не могут. В пример приводят многочисленные несбывшиеся прогнозы фантастов. Есть и такие, конечно. Но фантастика ценна для науки не столько тем, что прямо указывает ученым, что им делать, сколько тем, что исподволь учит думать раскованно, развивает воображение.

Кстати, в самом утверждении «фантасты ошибаются чаще ученых» тоже есть существенная доля психологической инерции. Видимая строгость научных предположений заставляет забывать о том, что подавляющей их части суждено сгинуть без всякого следа. В науке (как и в фантастике!) выживают жизнеспособные идеи. Разница в том, что фантастическое произведение, если оно хорошо написано, если в нем есть характеры и

интересные сюжетные находки, может долго волновать читателя и служить дотошным критикам примером того, как часто ошибаются фантасты. Ошибочная же научная идея живет не дольше того момента, когда ее сменяет другая идея, более близкая к истине. Разве мало ошибочных научных идей мы уже встретили в нашем расследовании гибели звезд? Вот и получается, что об ошибочной научной идее чаще всего забывают, об ошибочной идее фантаста помнят долго.

Можно привести в пример книгу А. Эддингтона «Внутреннее строение звезд», опубликованную в тридцатых годах прошлого века. Эддингтон был одним из первых, кто указал на ядерные источники энергии звезд. Начинать же он практически с нуля, не зная об источниках звездной энергии почти ничего. Неудивительно поэтому, что в книге Эддингтона среди десятка научных идей, давно преданных забвению из-за их неверности, оказалось несколько идей и решений, которые были близки к истине – потому и дожили до наших дней. С. Лем в своей статье «Космология и научная фантастика», опубликованной в 1977 году, назвал книгу Эддингтона научно-фантастической и был по-своему прав.

Приведу для примера лишь одну идею: звезды обязательно теряют массу в процессе эволюции. Вот ход рассуждений ученого. Звезды эволюционируют от состояния горячего массивного гиганта до состояния немассивного красного карлика – таким было представление об эволюции звезд в первой трети XX века (ошибочное представление!). Но если звезды рождаются массивными, а умирают немассивными, значит, они в течение жизни массу теряют. Логично? Вполне. Как же они теряют массу? Единственный способ взаимодействия звезды с окружающей средой – излучение (еще одна ошибочная идея!). Значит, звезды теряют массу посредством излучения, согласно знаменитой формуле  $E = M \times c^2$ . Логично? Да. Но верно лишь в той части утверждения, где говорится, что звезды теряют массу.

Это утверждение справедливо и сейчас, но причина потерь массы и следствия из этого совершенно иные! Теперь представим себе писателя-фантаста, который на заре тридцатых годов прошлого века, вдохновленный идеей А. Эддингтона, написал бы рассказ, содержащий идею о том, как «худеет» звезда, а сюжет был бы связан с возможной человеческой трагедией. Будучи хорошо написанным, рассказ читался бы и сейчас, служа примером ошибочности идеи фантаста...

Вернемся к одной из множества функций фантастической литературы – развитию творческого воображения. Не так уж много существует в мире методик по развитию воображения, и в большей своей части методики эти – результат изучения фантастических идей.

### Странная планета Арнольда

Одна из самых популярных методик, но далеко не самая эффективная, разработана была профессором Стенфордского университета Д. Арнольдом. Профессор предлагал своим студентам решить конструкторскую задачу, но ставил условие: конструкция будет использована не на Земле, а на вымышленной планете Арктур-IV. На этой планете температура колеблется от -43 до -151 градусов Цельсия, атмосфера состоит из метана, моря – из аммиака, тяжесть вдесятеро больше земной. И живут на этой планете разумные существа – метаняне. Придумайте, говорил Д. Арнольд, в каких домах они должны жить? Какой у них транспорт? Чем они питаются? Какие у них дороги? Машины?

Регулярно проводя со своими студентами подобные занятия, Д. Арнольд расшатывал психологические барьеры в их сознании, и на обычные земные проблемы они начинали смотреть иначе, под более широким углом зрения, будто став пришельцами из иного мира, своего рода *дилетантами* в мире нашем. После таких упражнений студенты лучше решали и другие творческие задачи!

Тех же результатов можно достигнуть, читая научно-фантастические произведения, действие которых происходит на вымышленных планетах. Например, романы Д. Харберта,



У. Ле Гуин, Х. Клемента, Р. Желязны, Д. Симмонса, В. Винджа. Планета – место действия – представлена в романах этих авторов очень зримо, хотя и поражает воображение необычностью. У читателей возникает желание думать вместе с автором: какие еще следствия должны вытекать из фантастической посылки, что еще можно нафантазировать?

Пример: роман Х. Клемента «Экспедиция «Тяготение». Действие происходит на очень массивной планете, вращающейся так быстро, что сила тяжести на экваторе почти уравнивается центробежной силой, а на полюсах ускорение свободного падения в 800 раз превышает земное! Лишь в районе экватора и могут жить земные космонавты, прибывшие на эту странную планету. В районе же полюсов не выдерживают и иные аборигены. Сверхбыстрым вращением определяется и форма планеты: она чрезвычайно сплюснута и больше напоминает блин, чем привычный для нас шар. Будто пользуясь методом Арнольда, мы рассуждаем вместе с писателем-фантастом: как должны выглядеть на такой планете живые существа? Как они перемещаются? Строят ли города? Как представляют себе свой мир?

Задача Арнольда может быть усложнена необходимостью самим придумать необычную планету, в условиях которой придется «работать». В качестве планеты-прототипа можно использовать Землю, изменяя с помощью приемов какой-либо один параметр.

Можно придумать немало фантастических планет, во всем подобных Земле, отличающихся лишь тем, что, например,

...планета резонирует на любой колебательный процесс, будь то колебания акустические или электромагнитные,

...любой предмет, попавший на поверхность планеты, немедленно дублируется в количестве от 10 до 100 экземпляров,

...облака и тучи движутся под поверхностью планеты,

...планета поглощает любое излучение, а отражает лишь в какой-нибудь одной спектральной линии, причем длина волны отражения меняется произвольным образом,

...скорость движения как полей, так и вещества ограничена величиной 5 км/час,

...в атмосфере накапливаются излучения с древнейших времен; видны не только (и не столько) пейзажи настоящего, но также виды прошлого, и всякий раз трудно разобраться в том, какое именно время перед глазами,

...перемещение по поверхности возможно лишь с одной степенью свободы, например, передвигаться можно только вдоль какой-то параллели,

...смена дня и ночи происходит независимо от движения светила, например, по всей планете синхронно начинают светиться колонии микроорганизмов,

...источники внутреннего тепла перемещаются в недрах планеты, в результате чего смещаются зоны жары и холода,

...атмосфера расположена выше определенного уровня: прилегающие к поверхности планеты области «пусты», поскольку сильное магнитное поле планеты заставляет атмосферу диффундировать вверх,

...материалы и породы обладают большой текучестью: горы, скалы, холмы – все течет,

...на планете нет твердого состояния вещества.

И все эти странные планеты уже были описаны фантастами!

Метод Арнольда неплох, но он не алгоритмичен. В нем нет системы, он не дает объяснений – *как* придумать? *Как* вообразить? Это все тот же метод проб и ошибок, только поставленная задача – фантастическая.

### Алгоритмы фантазии

Алгоритмическая методика развития творческого воображения была разработана в СССР в семидесятых годах прошлого века. Отличается она тем, что развивает фантазию по определенной четкой и ясной системе. Курс развития творческого воображения (РТВ) читали слушателям школ и институтов изобретательского творчества. Таких школ и

институтов, работавших на общественных началах, где изучали теорию решения изобретательских задач (ТРИЗ), лет двадцать назад было больше сотни. В этих школах учили изобретать и с этой целью учили творчеству вообще. После развала СССР большая часть специалистов по ТРИЗ эмигрировала (в основном, в США), и сейчас в России осталось не так уж много энтузиастов, продолжающих попытки обучать желающих методам развития творческой фантазии.

Один из методов, используемых для развития воображения, – метод приемов. Сам метод возник из двух «зерен» – ТРИЗ и теории фантастики. Оказалось, что изобретатели и фантасты, придумывая новые идеи, пользуются по большей части *одними и теми же* приемами. Для нас важно, что подобными же приемами пользуются и ученые.

Какие это приемы?

Вспомним гипотезы о причинах вспышек новых звезд и попробуем отыскать в их последовательности внутреннюю логику. И для этого вспомним также, что каждая гипотеза – это научное изобретение. Изобретение делают, когда нужно разрешить возникшее научное противоречие. В основном, это противоречие между наблюдением и его интерпретацией. И для того, чтобы противоречие разрешить, обычно изменяют интерпретацию. Как именно?

Вот одна из первых гипотез о происхождении вспышек. Звезда движется в межзвездном газе, попадает в плотное облако, разогревается от трения, светимость ее быстро увеличивается – происходит вспышка. Но возникает противоречие. Звезда *должна* нагреваться, чтобы произошла вспышка, но она *не может* нагреться, потому что в космосе слишком мало газа, он слишком разрежен, его плотности попросту недостаточно не только для того, чтобы сильно разогреть движущуюся звезду, но даже для того, чтобы хоть как-то изменить ее температуру. Как быть? Для разрешения возникшего противоречия астрофизики использовали прием **увеличения**. Нужно увеличить плотность газа (если звезда нагревается от трения – гипотеза Зеелигера) или плотность числа звезд (если причина вспышки в близких прохождениях звезд – гипотеза Белопольского). Но, увеличив мысленно плотность газа, мы опять сталкиваемся с противоречием. В космосе нет таких плотных облаков, какие нам нужны! Выход? Либо сделать заявку на открытие (в космосе все-таки должны быть сверхплотные газовые комплексы, но мы их пока не наблюдаем – так давайте же их искать!), либо еще раз изменить интерпретацию. Использовать другой прием, поскольку прием увеличения не сработал.

Прием **уменьшения**. Мысленно уменьшим расстояние между звездами. Пусть звезды проходят друг около друга так близко, что возникают приливы, извержения, вспышки (гипотеза Хеггинса). Но ведь и здесь противоречие – расстояние между звездами нельзя уменьшать, как нам хочется. Звезды отделены друг от друга в среднем расстоянием 2-3 световых года. В галактических скоплениях расстояния меньше, но не намного. В шаровых скоплениях расстояния между звездами меньше светового года, и близкие прохождения случаются достаточно часто, но ведь нам-то нужно объяснить, как возникают вспышки новых звезд в рукавах Галактики, а не только в шаровых скоплениях!

К тому же, когда звезды случайно сближаются, то увеличиваются и их относительные скорости. Чтобы возникли катастрофические явления, приводящие к вспышке, звезды должны сблизиться на расстояние всего двух-трех радиусов. Потом звезды опять разлетаются и продолжают движение, «забыв» о недавней катастрофе. Проблема в том, что разлетаются звезды слишком быстро, и гравитационные силы просто не успевают вызвать никаких катастрофических явлений.

Итак, для взаимодействия не хватает времени. Используем еще раз прием **увеличения**. Пусть звезды не только пролетают друг около друга, но остаются рядом в течение длительного времени. И теперь ни один астроном уже не скажет: так не бывает. Так бывает – в двойных системах.

Последовательное применение приемов увеличения и уменьшения (самых простых приемов, используемых в курсе РТВ) привело к гипотезе: вспышки новых происходят в

двойных звездных системах, когда одна из звезд своим тяготением вызывает приливы и катастрофические явления на поверхности звезды-соседки.

Этого же результата можно было достичь другим путем, применив более сильный прием **объединения**: если объекты разобщены – сведите их в единую систему.

Гипотезу о двойственности новых звезд предложил, как вы помните, Клинкерфус в начале XX века. В принципе, она считается верной и в наши дни. Но вот что любопытно. Почти полвека гипотеза о двойственности новых считалась неправильной. И все потому, что для преодоления очередного противоречия был использован *не тот прием!*

Когда Клинкерфус предложил гипотезу о двойственности новых звезд, оказалось, что известные в то время двойные системы не настолько тесные, звезды в них не настолько близки друг к другу, чтобы приливные силы оказались достаточно велики. Даже в двойных системах приливы не вызывают катастрофических явлений. И тогда вместо простого приема уменьшения (уменьшим расстояние между звездами: предположим, что все-таки есть очень тесные двойные системы, попробуем такие системы найти!) был использован значительно более сильный прием **наоборот**: если что-то не получается, сделаем наоборот. Если взрывы не удастся объяснить внешними причинами, поищем причины внутренние.

Но если причина вспышки кроется в особенностях внутреннего строения звезд, то зачем нужна идея о двойственности новых? И гипотеза Клинкерфуса была забыта...

Много лет спустя, в середине шестидесятых годов прошлого века, ситуация эта повторилась – когда астрофизики обсуждали различные возможности обнаружения нейтронных звезд. Один из способов – наблюдение аккреции межзвездного газа. Но плотность газа в Галактике не столь велика, чтобы обеспечить высокую светимость. Есть, конечно, очень плотные облака, но тут уж свое слово говорит теория вероятностей – не так много шансов нейтронной звезде угодить при своем движении в очень плотную туманность, ведь размеры таких туманностей невелики.

Казалось бы, нет выхода? Если нет в Галактике больших плотных облаков...

Но ведь была и другая идея – наблюдение нейтронных звезд в двойных системах! Почему не объединить обе наблюдательные возможности? Представьте нейтронную звезду в двойной системе, где в пространстве между звездами много вещества, которое захватывается нейтронной звездой и...

Так это все та же идея о природе новых звезд – только вместо белого карлика в двойной системе находится нейтронная звезда. Обычная звезда в такой системе – источник вещества. Если это вещество перетекает на белый карлик, это приводит к вспышке новой звезды. Если вещество течет на нейтронную звезду, то аккреция приводит к интенсивному рентгеновскому излучению. И теперь уже не скажешь – мало вещества, аккреция слабая!

Именно такая гипотеза и объяснила природу ярких галактических рентгеновских источников. И когда в 1972 году приборы американского спутника «Ухуру» зарегистрировали первый рентгеновский пульсар Сеп X-3, объяснения не пришлось долго ждать. Конечно, это излучает нейтронная звезда, на которую падает вещество, теряемое видимой в оптических лучах компонентой – массивной голубой звездой.

\* \* \*

ТРИЗ предлагает много приемов устранения технических противоречий, десятки приемов развития воображения предлагает и теория фантастики. Позднее мы еще вернемся к приемам, а сейчас уясним общую схему.

От метода проб и ошибок мы перешли к морфологическому анализу – стали систематически исследовать все исследовательское поле. Потом поняли, что это непроизводительная трата времени. Хорошо бы не пропалывать все поле (по системе или без нее), а сразу идти прямой дорогой к решению проблемы. В поисках этого пути мы выяснили, что научная задача, как и техническая, заключается в необходимости выявить и устранить противоречие. Возник вопрос: как именно можно противоречие устранить? Нужно, сказали мы, изменить одну из конфликтующих сторон. Изменить, но как? Для этого и нужна

специальная система, нужен *алгоритм*. ТРИЗ является пока единственной алгоритмической методикой решения творческих изобретательских задач – приемы ТРИЗ *прямо* ведут к искомому решению. В решении научных задач такой теории пока нет. Использование приемов для устранения научных противоречий – лишь первые шаги.

Все, что можно в принципе сделать с явлением, фактом, рассуждением, эти приемы должны объединить в себе. На примере новых звезд мы видим, что противоречия *могли быть* устранены с помощью стандартных приемов увеличения, уменьшения, объединения... Но беда в том, что в науке использование приемов пока ничем не эффективнее обычного метода проб и ошибок. Нет еще правил пользования приемами, нет алгоритма научного творчества.

В технике – иное дело. Советский изобретатель Г.С. Альтшуллер проанализировал в шестидесятых годах прошлого века сотни тысяч изобретений и выявил несколько десятков стандартных приемов устранения технических противоречий. Более того, он установил – материала было достаточно! – какие именно приемы нужно использовать для разрешения конкретных типов противоречий. Так сорок лет назад был создан алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ), ставший основой современной теории (ТРИЗ). В науке такой анализ научных изобретений и открытий еще не проведен. Если научное противоречие и выявлено, то неясно, какой именно прием нужно использовать для его разрешения. Вот ученые и перебирают все приходящие на ум возможности (а если увеличить, а если уменьшить, а если сделать наоборот, а если объединить), и получается, в сущности, лишь переработанный вариант метода проб и ошибок. Поэтому и те приемы, о которых уже шла речь, и те, о которых пойдет речь ниже, используются пока не там, где нужен целеустремленный научный поиск, а для развития творческого воображения.

## **Глава шестая** **Еще немного, еще чуть-чуть...**

*Наука выигрывает, когда ее крылья раскованы фантазией.*  
*М. Парадей*

### **Необычные свойства нейтронных звезд**

Середина шестидесятых годов XX века – начало расцвета рентгеновской астрофизики. Середина шестидесятых – это бум исследования квазаров. Это открытие реликтового излучения. Это исследование активных галактик. В общем, кульминация революции в астрофизике.

Именно тогда окончательно оформилось новое направление исследований – релятивистская астрофизика. Это название было впервые произнесено на симпозиуме в Далласе в 1963 году. Релятивистская астрофизика объединила изучение небесных тел и явлений, в природе которых важную, а то и определяющую роль играют эффекты и следствия общей и частной теорий относительности. Рентгеновские источники заставили поверить: нейтронные звезды могут существовать в Галактике. Открытие квазаров заставило поверить: в дали Вселенной могут существовать коллапсирующие тела с массами в миллиарды масс Солнца. А открытие реликтового излучения заставило поверить: самое начало нашей Вселенной тоже можно описать теорией относительности Эйнштейна.

Революция в астрофизике достигла кульминации, но в поиске нейтронных звезд кульминация еще не наступила. Рентгеновские измерения в шестидесятых годах еще не обладали нужной точностью и чувствительностью. Оптический поиск нейтронных звезд в двойных системах в то время никто еще не проводил. А нейтринная обсерватория, способная обнаружить всплеск излучения нейтрино во время коллапса, существовала только в мечтах энтузиастов. Новые идеи появлялись, а новых наблюдений не было...

Морфологическая таблица «нейтронные звезды» заполнялась в те годы медленно. Какие наблюдаемыми свойствами обладает нейтронная звезда? Силой притяжения и теплотой. Разве это все? Добавим новые клетки и для этого обратимся к другим звездам, например, к Солнцу. Какие из его свойств сохранятся, если сжать Солнце до размеров нейтронной звезды? В недрах Солнца идут ядерные реакции – это свойство не сохранится, гореть в нейтронной звезде нечему.

Солнце вращается вокруг оси, делает один оборот за 27 дней. Если вращающееся тело сжать, оно начнет вращаться быстрее. Если размер тела уменьшить вдвое, вращение станет вчетверо быстрее. Радиус нейтронной звезды в сто тысяч раз меньше солнечного. Если уменьшить размер светила в сто тысяч раз, его вращение ускорится в 10 миллиардов раз. Нейтронная звезда должна совершать один оборот вокруг оси за одну десятитысячную долю секунды!

Вспомним теперь о законе природы, благодаря которому нейтронная звезда оказывается наделенной еще одним удивительным свойством. Это закон сохранения магнитного потока. У Солнца есть магнитное поле. Это регулярное дипольное магнитное поле, величина которого на поверхности светила (вне пятен) равна примерно 1 гауссу. Представим опять, что Солнце сжалось до размеров нейтронной звезды. Количество магнитных силовых линий, пересекающих поверхность звезды, не может измениться. Но сама поверхность стала меньше в 10 миллиардов раз. Значит, на единицу поверхности теперь приходится в 10 миллиардов раз больше силовых линий, чем прежде. А это означает, что в 10 миллиардов раз увеличилось магнитное поле. Один гаусс на поверхности обычной звезды – и 10 миллиардов гауссов на поверхности звезды нейтронной! Если такое огромное магнитное поле вообще может существовать в природе, то именно в нейтронных звездах.

Но размер черной дыры еще меньше, значит, ее магнитное поле еще больше?

Нет. Магнитное поле черной дыры равно нулю! В 1964 году к такому выводу пришел В.Л. Гинзбург. Катастрофически сжимаясь, звезда скрывается под своим гравитационным радиусом и с этого момента полностью пропадает для наблюдателя. Но вместе со звездой для наблюдателя исчезает и ее магнитное поле. Исчезает, как мы уже говорили, не мгновенно, этот процесс растягивается для внешнего наблюдателя на бесконечное число лет. Исчезают все свойства, кроме трех: массы, заряда и момента вращения. Пролетая мимо черной дыры на звездолете, мы могли бы только констатировать, что на траверзе находится некое притягивающее, заряженное и вращающееся тело. И больше никаких свойств. В середине шестидесятых годов прошлого века Дж. Уилер сказал, что «черная дыра не имеет волос». Это верно – она лысая... Правда, в семидесятых годах С. Хокинг показал, что это утверждение не совсем верно. Реденькие «пряди волос» у черной дыры все-таки есть. Например, вблизи сферы Шварцшильда в вакууме могут рождаться пары частиц и античастиц, способные покинуть черную дыру и улететь в космос. Но рассказ об удивительных свойствах черных дыр уведет нас далеко от нашего расследования.

Вернемся к нейтронным звездам. Итак, нейтронная звезда очень быстро вращается и обладает огромным магнитным полем. В РТВ, как мы говорили, есть прием *объединения* разнородных свойств. В 1964 году советский астрофизик Н.С. Кардашев объединил в одной нейтронной звезде свойства быстрого вращения и огромного магнитного поля. Речь шла о гипотетической нейтронной звезде в Крабовидной туманности.

Астрономы установили, что Крабовидная туманность расширяется все быстрее и быстрее, и объяснения этому странному явлению не было. Ведь астрофизикам хорошо известна сила, способная остановить расширение – сопротивление межзвездной среды. Но какая сила может расширение ускорить?

Это было противоречие между наблюдением и интерпретацией. Верную интерпретацию впервые предложил Н.С. Кардашев. Он использовал прием объединения: объединил в одну систему туманность и нейтронную звезду в ней. Они ведь действительно неразрывно связаны общим магнитным полем. Тысячу лет назад не было ни туманности, ни нейтронной звезды. Была звезда-старушка, конец которой приближался. Звезда обладала магнитным

полем. Звезда вращалась вокруг оси. Потом она взорвалась. Оболочка разлетелась, а ядро стало нейтронной звездой. Оболочка унесла с собой и магнитные силовые линии. Ведь силовые линии магнитного поля не могут разорваться. Выйдя из какой-то точки, они в нее и возвращаются – силовые линии магнитного поля замкнуты. Выйдя из нейтронной звезды и пройдя сквозь туманность, силовые линии вновь возвращаются к нейтронной звезде. Силовые линии магнитного поля связывают звезду и туманность невидимыми тугими нитями. Если бы нейтронная звезда не вращалась, то силовые линии просто вытягивались бы при расширении туманности. Но нейтронная звезда быстро вращается, и силовые линии наматываются на нее, как на барабан. Магнитное поле, проходящее сквозь туманность, становится подобно спирали, ветви которой скручиваются все туже. Силовые линии сближаются. Увеличивается магнитное поле. Значит, растет и магнитное давление. Нейтронная звезда как бы «накачивает» в туманность магнитное поле. А давление магнитного поля расталкивает плазму в туманности, заставляет ее расширяться все быстрее.

Но ведь, чтобы «накачать» магнитное поле и разогнать газ в туманности, нужна энергия. Откуда она берется? Н.С. Кардашев дал ответ: из энергии вращения нейтронной звезды. Понятно, что нейтронная звезда вращается намного быстрее, чем туманность. Настолько быстрее, что, по сравнению с нейтронной звездой можно считать – туманность не вращается вовсе. Но силовые линии стараются перемещаться вместе с туманностью, ведь они, как говорят астрофизики, «вморожены в плазму». Значит, и силовые линии тоже стремятся не вращаться. И тянут за собой звезду – тормозят ее вращение. Звезда вращается все медленнее, энергия ее вращения уменьшается, передается магнитным силовым линиям, то есть переходит в энергию магнитного поля. И в конечном счете идет на ускорение расширения туманности.

Выводы Н.С. Кардашева, подкрепленные расчетами, хорошо согласуются с наблюдениями Крабовидной туманности. Нейтронная звезда, если она есть в центре туманности, вполне способна обеспечить наблюдаемое ускорение. Более того: нейтронная звезда вполне способна «накачать» в туманность и наблюдаемое в ней магнитное поле. Оно, казалось бы, невелико – всего 0,0003 гаусса, но ведь это в 100 раз больше среднего магнитного поля межзвездного газа. И наконец, энергия вращения нейтронной звезды, которая при этом теряется, составляет при этом примерно  $10^{37}$  эрг/с. Столько, сколько ежесекундно излучает Крабовидная туманность во всех диапазонах длин волн. Нужны ли были более убедительные аргументы в пользу того, что в Крабовидной туманности *должна* находиться нейтронная звезда?

Все эти аргументы были известны в 1964 году, однако существовало сильнейшее и никем в то время еще не поколебленное предубеждение: нейтронная звезда – мертвое тело. Работа Н.С. Кардашева этого предубеждения тоже не поколебала. Магнитное поле, вращение – это ведь свойства пассивные, то, что осталось нейтронной звезде в наследство от звезды, погибшей при взрыве.

Была еще идея С.Б. Пикельнера, высказанная еще в 1956 году: в Крабовидной туманности *есть* источник релятивистских электронов. Никто против этого не возражал. Но в качестве источника частиц предлагалось все, что угодно, кроме собственной активности нейтронной звезды. В 1966 году И.С. Шкловский писал, например, что источником быстрых частиц может стать турбулентная плазма, окружающая нейтронную звезду. Да, активность есть, без нее не обойтись, но пусть она будет *вне* звезды!

Правда, были в те годы и работы, где говорилось о возможности (кратковременной!) генерации быстрых частиц в недрах нейтронной звезды. Нейтронная звезда возникает в процессе катастрофического коллапса. Но ведь, падая к центру, частицы вещества приобретают огромные скорости. В момент, когда образуется нейтронная звезда, падение прекращается (давление вырожденного нейтронного газа уравнивает силу тяжести). А что происходит с кинетической энергией, которой, падая, запаслись частицы? Она переходит в тепло – так происходит всегда, когда движение тормозится. Да, энергия движения частиц переходит в тепло, но – не сразу. Сначала эта энергия переходит в энергию

колебаний звезды и лишь потом, после затухания колебаний, превращается в тепло. Некоторое время (недолгое, конечно) нейтронная звезда вздувается и опадает, и при этом генерируются быстрые частицы, способные покинуть звезду, «испариться» с ее поверхности.

### Объединить и увеличить

Вернемся к морфологической таблице «Нейтронные звезды». Вот клетка – огромное магнитное поле. Вот клетка: быстрое вращение. Вот клетка: нейтронная звезда колеблется. Вот клетка: нейтронная звезда генерирует быстрые частицы. Но о предсказании открытия, которому суждено было стать астрономическим событием века, речи не было. Психологическая инерция не позволяла предположить, что всеми перечисленными свойствами может обладать *одна* нейтронная звезда. Но и этого было недостаточно. Чтобы предсказать пульсары, нужно было значительно *увеличить* способность нейтронных звезд выбрасывать релятивистские частицы.

Недоставало субъективного фактора: человека, который, обладая интуицией, догадался бы использовать приемы *объединения* и *увеличения*. Интересно: если бы пульсары не были случайно открыты в 1967 году, смогли бы теоретики предсказать их за последовавшие сорок лет? Или и сейчас, сорок лет спустя, астрофизики считали бы, что нейтронные звезды мертвы? Нет, конечно. Идея носилась в воздухе. Недаром первая правильная работа о причинах излучения пульсаров появилась всего через три месяца после опубликования заметки об открытии.

Однако психологическая инерция живуча. Открытие пульсаров было фактом, с которым нельзя спорить. Когда ученый имеет дело с наблюдательным или экспериментальным фактом, само существование факта разрушает инерцию мысли. С фактом приходится считаться, факт объективен – если, конечно, полностью доказан, а это тоже порой становится большой проблемой. Было ли наблюдательным фактом, к примеру, существование марсианских каналов? Эти тонкие линии многие астрономы наблюдали своими глазами. Каналы были сфотографированы. Значит, факт. Нет – оптическая иллюзия, что и было доказано, когда удалось получить фотографии с большим разрешением.

Наблюдение можно неправильно интерпретировать, чужое мнение можно опровергнуть, с мнением можно не согласиться, можно его попросту проигнорировать. Поэтому не нужно недооценивать роль субъективного фактора в науке. Может быть, сегодня в какой-то области науки тоже накопилось достаточно идей – морфологическая таблица заполнена, созрела возможность для предсказания открытия. Но нет субъективного фактора: человека, который отыскал бы в таблице нужную клетку и использовал нужный прием. Потом, когда открытие будет сделано – вероятнее всего, случайно, – станут говорить: конечно, кризис назрел, и если бы не Икс, то это открытие сделали бы Игрек или Зет. Да, но пришел бы Игрек к открытию спустя неделю или через три года? И было бы открытие, сделанное Зет, таким же изящным и красивым? Внесли бы Игрек и Зет именно те изменения, которые ведут к открытию? Или воспользовались бы другим приемом, одним из десятков? Ведь тогда они сделали бы *другое* открытие!

В ходе расследования мы уже встречались с некоторыми приемами, заимствованными из арсенала теории изобретательства и теории фантастики.

Как возникает изобретение? На каком-то этапе своего развития техническая система приходит в противоречие с нуждами практики. Система требует изменения. Это изменение производят с помощью стандартных приемов. Сравним с развитием науки. Здесь тоже на некотором этапе старое представление вступает в противоречие с наблюдением (экспериментом) или с новыми представлениями. Старое представление нуждается в изменении, и ученый изменяет его, делает научное изобретение, в конечном счете, с помощью аналогичных приемов, используемых, в отличие от ТРИЗ, подсознательно.

Анализ сотен тысяч изобретений позволил найти соответствие между техническими противоречиями и теми приемами, с помощью которых каждое конкретное противоречие может быть разрешено. Изобретатель, использующий ТРИЗ, уже не мечется по полю проб и ошибок – он знает, как разрешить каждый конкретный тип технического противоречия. А ученые продолжают пропалывать поле проб и ошибок, потому что работа, которую проделал Г.С. Альтшуллер по систематизации приемов в изобретательском творчестве, еще не сделана для творчества научного. Поэтому и нам пока придется пользоваться приемами вслепую, не столько для решения конкретной научной задачи, сколько для развития воображения.

### **Все наоборот!**

Приемы, используемые для развития творческой фантазии, подобны приемам изобретательства, но у них все же своя история – получены они были в результате анализа научно-фантастических идей. Были собраны тысячи идей, придуманных фантастами, и оказалось, что любую из них, даже самую, казалось бы, невероятную, можно получить из обычного, всем известного факта, если этот факт соответствующим образом *изменить*. Соответствующим образом – значит: с помощью какого-то приема. Перечислю основные приемы и приведу примеры из научно-фантастической литературы и из астрофизики.

Самый популярный в фантастике (возможно, и в науке!) прием – *наоборот*. Изменить свойства на противоположные, действие на антитедействие и т.д. Вспомним слова Хименеса, взятые эпитафией к повести Р. Брэдли «451° по Фаренгейту»: «Если тебе дадут линованную бумагу – пиши поперек». С использованием приема *наоборот* мы уже не сталкивались. Когда астрофизики не смогли объяснить вспышки новых звезд внешними причинами, они поступили наоборот: стали искать причины внутренние. Мак-Лафлин тоже объяснил спектры сверхновых I типа с помощью приема *наоборот*. В спектрах, сказал он, наблюдаются не яркие полосы на темном фоне, а темные полосы на ярком фоне.

Явное использование приема «наоборот» – идея Амбарцумяна о Д-телах. Звезды рождаются из межзвездного газа при его сжатии (общепринятое представление). И наоборот: звезды возникают из сверхплотного дозвездного тела при его расширении (гипотеза Амбарцумяна). Я не говорю о том, приводит ли прием *наоборот* непременно к правильным результатам – вот ведь и идея о Д-телах оказалась ошибочной, как и гипотеза о внутренних причинах взрывов новых звезд.

Пример из научной фантастики: человек молодеет вместо того, чтобы стареть. Вспомните «Звездные дневники Ийона Тихого» С. Лема. Тихий попадает на планету, где процессы жизнедеятельности текут вспять, как пущенная назад кинолента. В романе П. Буля «Планета обезьян» тоже все наоборот – обезьяны правят миром, а люди сидят в клетках. В романе А. Лазарчука «Всякий, кто может держать оружие» тоже все наоборот: Гитлер не проиграл, а победил во второй мировой войне...

Прием *наоборот* используется очень часто. И вот что важно: этот суперприем позволяет менять и сами приемы. Так, вместо приема *уменьшения* можно использовать обратный прием – *увеличение*. С обоими этими приемами мы уже сталкивались, когда обсуждали гипотезы о вспышках новых звезд. А вот примеры из фантастики.

Увеличение роста человека – в романе Г. Уэллса «Пища богов». Увеличение размеров звездолета – в романе С. Лема «Магелланово облако» звездолет огромен, как город. В романе А. Кларка «Свидание с Рамой» звездолет может вместить несколько городов, а в повести Г. Гуревича «Прохождение Немезиды» и цикле романов Р. Блиша «Города в полете» звездолет подобен планете, да это и есть планета, которую ее жители используют в качестве космического корабля.

Прием *уменьшения*. Рост человека в повести В. Брагина «Страна дремучих трав» уменьшается настолько, что обычная трава кажется огромным деревом. В повести А. Азимова «Фантастическое путешествие» размеры подводной лодки вместе с людьми



уменьшают настолько, что они отправляются в путешествие по кровеносной системе человека, перемещаясь внутри сосудов вместе с потоком крови. Классические примеры использования приемов уменьшения и увеличения – «Путешествия Гулливера» Д. Свифта и «Алиса в стране чудес» Л. Кэррола.

Часто используются прием *ускорения* и обратный ему прием *замедления*. Пример из астрофизики. Когда были открыты квазары, спектры их в течение двух лет не поддавались расшифровке. Американский астрофизик М. Шмидт в 1963 году решил задачу с помощью приема ускорения. Он предположил, что квазары движутся от наблюдателя со скоростями, которые казались в то время невероятными: десятки тысяч км/с. И сразу все прояснилось – непонятные спектральные линии оказались обычными линиями водорода, но сильнейшим образом смещенными в красную сторону!

Примеры из фантастической литературы. В рассказе А. Беляева «Над бездной» Земля начинает вращаться в 17 раз быстрее. Даже в средних широтах центробежная сила сравнивается с силой тяжести, и герой рассказа едва не улетает в космос. В другом рассказе А. Беляева «Светопреставление» используется прием замедления – замедляется движение света. Представляете, что произойдет, если вдруг скорость света уменьшится до двух-трех метров в секунду? Прочитайте рассказ А. Беляева или повесть Т. Гнединой «Беглец с чужим временем»...

Существует прием *объединения* и обратный ему прием *дробления*. Объединение всех идей о нейтронных звездах. Именно тот прием, который не был использован астрофизиками в шестидесятых годах...

Любопытную историю рассказал американский астрофизик Дж. Стеббинс. Он был первым, кто в десятых годах XX века применил для нужд астрономии фотоэлементы. Чувствительность фотоэлементов в то время была низкой, и Стеббинс долго размышлял над тем, как избавиться от этого существенного дефекта. Вот что он писал: «После демонстрации фотоэлемента на заседании я завернул его в носовой платок и положил в карман. Потом я забыл о фотоэлементе, вытащил носовой платок и уронил фотоэлемент на твердый пол. Это был хороший фотоэлемент, но теперь у меня стало два фотоэлемента, каждый из которых был вдвое лучше первого. В то время как большая площадка примерно в 12 см<sup>2</sup> давала большие шумы, маленькая оказалась заметно лучше. Учтя этот опыт, я набрался храбрости, поместил наш лучший фотоэлемент в тиски и молотком и зубилом отколол от него примерно четверть, чтобы получить действительно хороший фотоэлемент».

Как видим, Дж. Стеббинс применил (совершенно неосознанно!) прием дробления. Впрочем, так и происходит в большинстве случаев, когда ученый действует с помощью метода проб и ошибок.

Фантасты тоже пользуются этим приемом. В «Путешествиях профессора Тарантоги» С. Лем дробит своего героя на атомы! При этом снимают схему их расположения в человеческом теле. Схему передают в любое другое место, а там специальная аппаратура вновь собирает того же человека.

В. Виндж в романе «Пламя над бездной» использует прием объединения – объединенные в стаю, собакоподобные животные на далекой планете становятся единым разумным существом. Вне стаи каждая из «собак» разумом не обладает.

Еще один прием – *динамизация*: если действие или явление статично, то нужно сделать его меняющимся, динамичным. И наоборот: если действие динамично, сделайте его статичным.

Обратимся за примерами к астрофизике. Звезды излучают потому, что в их недрах идут термоядерные реакции: водород превращается в гелий. Но кроме тепла в этих реакциях рождаются и нейтрино. Если мы знаем, сколько энергии излучает звезда, то можем подсчитать, какое количество нейтрино должно выделиться. Ожидаемый поток нейтрино от Солнца давно подсчитан, он раза в три больше, чем тот, что удается наблюдать. Противоречие. Используем прием динамизации. Пусть темп ядерных реакций в недрах Солнца меняется со временем. И допустим, что много лет назад реакции в недрах Солнца

протекали интенсивнее, чем теперь. Нейтрино покидают звезду за одну-две секунды – для них вещество звезды прозрачнее стекла. Но тепло, которое выделяется от слияния атомов водорода в атом гелия, достигнет поверхности Солнца лишь через много лет, медленно переходя от одного внутреннего слоя к другому. Это означает, что излучение Солнца, видимое сейчас, соответствует темпу реакций, прошедших много лет назад. А поток нейтрино соответствует темпу реакций в сегодняшнем Солнце. И если за много лет скорость реакций уменьшилась, то мы обязательно зарегистрируем кажущийся дефицит нейтрино.

И опять пример из научно-фантастической литературы: в романе В. Савченко «Открытие себя» человек управляет своей внешностью. Динамичное тело – кто откажется от такого?

Очень силен прием *универсализации* и обратный ему прием *ограничения*. Сделайте явление универсальным, пусть действие его распространяется на более широкий класс явлений. И наоборот – ограничьте действие универсального явления.

Ни один закон природы не был бы выведен, если бы ученые не пользовались приемом универсализации. Ньютон видел, что предметы притягиваются Землей, и объявил тяготение универсальным свойством всех тел во Вселенной. Английский врач Майер наблюдал, как меняется цвет крови человека по мере приближения к экватору, к более жарким странам. Рассуждая о природе этого единичного явления, он открыл самый универсальный из законов природы – закон сохранения энергии.

Однако универсализация немыслима без своего антипода – приема ограничения. Ньютон считал, что законы механики выполняются при любых скоростях движения тел. А Эйнштейн доказал, что действие классической ньютоновской механики нужно ограничить скоростями, малыми по сравнению со скоростью света. Каждый закон природы – следствие обобщения какого-нибудь единичного факта или явления. Но каждый закон природы в то же время ограничен.

В повести В. Шефнера «Девушка у обрыва» описан универсальный материал аквавид. А кому не известны универсальные роботы А. Азимова?

Приемом ограничения пользовались Р. Хайнлайн в романе «Вселенная» и К. Саймак в замечательном рассказе «Поколение, достигшее цели»: для космонавтов вся Вселенная ограничена стенками звездолета – люди и не подозревают, что существует еще нечто вне космического корабля.

Я рассказал здесь всего о шести приемах и их антиприемах. На самом деле приемов гораздо больше. В ТРИЗ – теории решения изобретательских задач – насчитывается 40 приемов разрешения технических противоречий. В курсе развития творческой фантазии приемов более 50, и это естественно – для развития воображения пригодны все приемы, которые позволяет выявить многогранная фантастическая литература. В фантастике используются и весьма специфические приемы, которые вряд ли будут в скором времени взяты на вооружение наукой, но для развития творческой фантазии эти приемы совершенно необходимы. Речь идет о приемах *одушевления* и *искусственности*. Неживому приписать свойства живого, а то, что считалось естественным, объявить искусственным. И наоборот, конечно.

В «Солярисе» С. Лема одушевлен океан, покрывающий поверхность планеты. В романе С. Лема «Глас Господа» искусственным оказывается поток нейтрино, пронизывающий Вселенную. В рассказе Г. Альтова «Порт Каменных Бурь» прием искусственности применим к шаровым звездным скоплениям. Попробуйте вспомнить прочитанные вами научно-фантастические произведения, и вы сами сможете привести немало примеров использования приемов одушевления и искусственности. Эти приемы уже давно используются для развития творческого воображения и даже для решения технических задач – например, в синектике.

Ученые этими приемами практически не пользуются, считая их (и справедливо!) неоправданно сильными. И.С. Шкловский ввел в свое время понятие *презумпции естественности*: всякое явление природы считается естественным, пока не будет совершенно надежно доказано обратное. Ученые неукоснительно следуют принципу презумпции естественности. Они отступили от этого правила, когда обнаружили аномалии

в движении спутников Марса. Но наблюдения оказались ошибочными, презумпция естественности восторжествовала. И во второй раз было совершено отступление от этого принципа... Впрочем, об этом позднее.

### Воздушный шар в космосе

Немного потренируемся – так мы лучше разберемся в действии приемов.

Возьмем для примера обычный воздушный шар. И воспользуемся приемом увеличения. Шар диаметром в сотню метров... В тысячу метров... Десять тысяч метров...

Казалось бы, это слишком много: шар диаметров в десять километров. Такой шар невозможно сделать! Психологическая инерция! Тренируя воображение, забудьте слово «невозможно». Представьте, что мы соорудили такой воздушный шар. Он будет лежать на земле, а верхний его край уйдет за облака.

Что ж, поднимем шар на высоту, соответствующую его размерам. Скажем, километров на двести.

На такой высоте нет атмосферы? Да, *почти* нет. Если диаметр шара велик, то шар будет висеть и на такой высоте. Сделаем его стенки тонкими, в один молекулярный слой. И тогда вес такого шара-гиганта окажется меньше веса воздуха, который он вытеснит. На высоте двести километров шар будет висеть неподвижно и служить, например, прекрасным отражателем для радио и телевизионных сигналов. А запустить его можно с помощью ракеты. Такая конструкция, возможно, обойдется дешевле, чем запуск дорогостоящих спутников связи.

Но пойдем дальше. Еще больше увеличим размеры шара. Ведь нам нужно новое качество. Диаметр шара десять километров, сто, тысяча, двадцать тысяч...

Это уже больше размеров Земли! При диаметре в двадцать тысяч километров шар окажется в космосе, в стороне от планеты. Но давайте используем еще и прием *наоборот*. Пусть Земля будет не рядом с шаром, а внутри него. Земля окажется внутри шара, как косточка в абрикосе. Правда, окружать оболочкой Землю пока нет необходимости, но вот Марс – можно. Атмосфера Марса очень разрежена. Представим, что мы заключили Марс с его воздушной оболочкой в шарообразную пленку, радиус которой всего на 10 км больше радиуса планеты. Атмосфера уплотнится и не сможет вырваться наружу. Условия жизни на Марсе существенно изменятся. Климат станет мягче, а летать можно будет на обычных реактивных самолетах. В открытый космос можно будет выбираться через шлюзы. Такой своеобразный воздушный шар можно использовать и для создания искусственной атмосферы на астероидах, где собственная сила тяжести не в состоянии удержать воздушную оболочку...

\* \* \*

Каждый ученый интуитивно пользуется различными приемами при решении научных задач. Дело, однако, в том, что работать с приемами нужно осознанно и систематически.

Не приведет ли это к дилетантизму? Не возникнет ли обманчивая мысль, что разрешить научное противоречие, предложить новую научную идею – легко? Достаточно использовать прием. Потренировавшись, это может сделать кто угодно. А как же специальные знания, как же научная интуиция?

Конечно, специальные знания совершенно необходимы. Без них не разглядеть научного противоречия, не поставить задачу. Без них не отличить плохую идею от хорошей, верную от неверной.

Но вот что выяснилось, например, после того, как была создана теория решения изобретательских задач. Для того, чтобы решить изобретательскую задачу в области, скажем, металлургии (задача, однако, должна быть уже сформулирована!), не обязательно быть специалистом-металлургом. Достаточно иметь общее представление об этой профессии. Главное – хорошо знать ТРИЗ. Обычно на занятиях по теории решения

изобретательских задач присутствуют люди самых разных специальностей. И все одинаково свободно решают поставленные изобретательские задачи независимо от профессии. «Метод важнее открытия, – говорил Л.Д. Ландау, – ибо правильный метод исследования приведет к новым, еще более ценным открытиям».

Вот любопытная аналогия из фантастики. В повести Р. Шекли «Обмен разумов» персонаж по имени Марвин Флинн теряет на далекой планете любимую девушку по имени Кэти. Горю его нет предела, но тут ему встречается некий Вальдец, специалист по теории поисков. Вальдец предлагает Флинну немедленно отправляться искать Кэти. Флинн недоумевает – ведь Вальдец не задал ни одного наводящего вопроса, не спросил даже, как Кэти выглядит. На что Вальдец отвечает:

«– Дружище, если бы вам было известно о Кэти все – ее привычки, друзья, желания, антипатии, надежды, страхи, мечты, планы и тому подобное, – как по-вашему, удалось бы вам ее найти?»

– Наверняка удалось бы, – ответил Марвин.

– Несмотря на то, что вы ничего не знаете о теории поисков?

– Да.

– Что ж, – сказал Вальдец, – а теперь рассмотрим обратный случай. О теории поисков я знаю решительно все. Следовательно, мне нет нужды знать что-либо о Кэти».

Конечно, ситуация здесь доведена до абсурда в стиле, свойственном Р. Шекли. Но зерно истины в утверждении Вальдеца есть. Зная, *как* решается любая научная задача, можно без страха приступить к решению конкретной проблемы.

С помощью приемов можно модифицировать и уже известный нам морфологический анализ. Метод направленной интуиции позволяет увидеть все поле проб и ошибок, но он раскладывает по клеточкам *современное* состояние науки, комбинирует то, что известно. Но настоящая «безумная» идея часто вовсе не является результатом простого комбинирования. Научная идея разрешает противоречие, *изменяя* одну из конфликтующих сторон. Подсознательно мы, похоже, оперируем искаженными морфологическими таблицами, клетки которых изменены будто в кривом зеркале. Так во сне мы не узнаем реальных событий, искаженных до предела.

Иными словами, подсознательно мы перебираем не клетки морфологической таблицы, а клетки *фантограммы*.

### Что такое фантограмма?

Представьте, что вам дали задание: придумать фантастическое растение. Первое, что приходит в голову – сосна размером с гору. Или водяная лилия на стебле кукурузы. Вы берете обычное растение и увеличиваете его размеры. Берете два разных растения и объединяете их. Так работает нетренированное воображение. Тренировка фантазии позволяет понять две вещи.

Во-первых, не обязательно менять растение целиком, чтобы получить фантастический эффект. Можно, например, изменить химический состав древесины, направление эволюции растения, среду его обитания...

Во-вторых, можно менять не одно дерево, а их систему. Не дерево, а лес.

Прежде чем что бы то ни было менять, нужно построить для понятия «растение» морфологическую таблицу. На одной из его осей будет химизм растения, его энергетика, природа древесины и многое другое. И менять с помощью, например, приема увеличения можно любую из клеток на этой оси свойств растения. Попробуйте, и вы убедитесь, как сразу увеличится диапазон фантастического, даже если пользоваться одним лишь приемом увеличения.

А есть ведь и другие приемы. Каждый прием (их около 50), использованный для изменения каждой клетки морфологической таблицы (таких клеток сотни, если не тысячи), приводит к рождению новой фантастической идеи. Нового фантастического растения. И

если реальное растение можно «разместить» в морфологической таблице из сотни клеток, то количество растений фантастических может достигнуть по меньшей мере десятков тысяч!

Морфологическая таблица, дополненная еще одной осью – осью изменений параметров, называют *фантограммой*. Морфологический анализ позволяет обобщить, систематизировать все, что известно о растениях. Или о нейтронных звездах. Или о звездах вообще. А фантограмма описывает и то, что может быть, но не реализуется. И то, чего быть не может, но возникает в воображении. А иногда даже то, что и вообразить трудно.

#### Фрагмент фантограммы

Наоборот    Увеличить    Ускорить    Ограничить    .....

Вещество

(химический состав,  
физические свойства)

Микроструктура

(атомы, молекулы,  
клетки, планеты...)

Макроструктура

(объект, организм,  
машина и т.д.)

Надструктура

(стая, колония,  
общество, система  
звезд и т.д.)

Энергопитание

(окисление пищи,  
прямая переработка  
и т.д.)

Способ передвижения

(ходьба, плавание,  
ракетный принцип и  
т.д.)

Воспроизведение

(самовоспроизведение,  
деление, синтез и т.д.)

Направление

эволюции

(от клетки к разуму, от  
атома к планете и т.д.)

Теория решения изобретательских задач рекомендует использовать фантограммы для развития творческого воображения. Но подсознание каждый научный работник давно освоил этот метод. Клетки фантограмм – не их ли видит ученый во сне или на прогулке, когда, казалось бы, вовсе не думает о своей задаче? Не потому ли решения, возникающие в самые неожиданные мгновения, бывают столь парадоксальными и часто – совершенно верными?

Цель, однако, в том, чтобы не ждать озарения, а сознательно менять объект исследования, закон природы, явление, доказательство – менять, пользуясь известными приемами. Обычно этому препятствует все та же психологическая инерция: фантограмма – это смесь реального и фантастического, а какой ученый в своей работе захочет опереться на фантастические идеи больше, чем на проверенные логические схемы? Вспомните Ф. Цвикки. Он нашел нейтронные звезды в своей морфологической таблице. В сущности, это была одна из клеток

фантограммы. Ф. Цвикки взял одно из свойств звезды – ее размеры – и воспользовался приемом уменьшения.

Однако, если в морфологической таблице для ракетных двигателей, построенной Ф. Цвикки, было 37864 клетки, то, дополнив каждую клетку осью изменений, мы получим миллионы комбинаций! Миллионы возможностей, из которых лишь немногие – изобретения. Как выбрать? Опять придется пробовать и ошибаться, только поле проб и ошибок теперь окажется во много раз больше. Жизни не хватит, чтобы справиться с такой задачей!

Впрочем, одно правило мы уже знаем. Изменять нужно не все клетки морфологического ящика, а лишь те, что ведут к противоречию. Найти противоречие – значит, поставить научную задачу. Воспользоваться фантограммой – значит, существенно приблизить решение. Ведь Ф. Цвикки изменял не произвольный параметр звезды, а именно тот, в котором скрывалось противоречие. Для вспышки сверхновой нужна была энергия. В обычной звезде такой энергии нет. Вот противоречие: энергия для вспышек сверхновых есть (ведь мы видим вспышки!), но ее нет (в обычных звездах). Для разрешения противоречия нужно знать, какая энергия переходит в энергию вспышки. Гравитационная, предположил Ф. Цвикки. А гравитационная энергия звезды зависит от ее размеров. Тогда исходное противоречие преобразуется к следующему: во вспышке сверхновой выделяется колоссальная гравитационная энергия (вспышку мы видим), но в обычной звезде такой энергии нет (слишком велики размеры). Противоречие между наблюдением и интерпретацией. Ф. Цвикки изменил интерпретацию и предсказал нейтронные звезды.

### Нужен эвристор!

Конечно, в реальности все не так просто. Даже выявив противоречие, ученый чаще всего вынужден изменять не одну из клеток морфологического ящика, а множество – ведь даже в случае со сверхновыми Ф. Цвикки мог предположить, что выделяется не гравитационная энергия, а ядерная, и тогда пришлось бы менять другие клетки, и предсказание нейтронных звезд могло бы не состояться. Искать один вариант среди тысяч – дело трудное и долгое. Хорошо бы иметь какой-нибудь набор правил, аналогичный тому, который существует в ТРИЗ. Назовем этот набор правил *эвристорм*. Эвристора научных изобретений и открытий еще нет, но на пути его создания вряд ли можно пройти мимо статистики уже сделанных открытий. Сейчас еще нет исследования, в котором анализировалось бы, в каких фантограммах были спрятаны открытия, сделанные за долгую историю науки. И главное – как эти открытия были сделаны. Почему в каждом конкретном случае ученый выбирал одни клетки фантограммы, а не другие. Почему использовал именно этот прием, а не другой.

Нужно собрать и систематизировать как можно больше открытий (желательно – все!), сделанные за сотни лет. Для каждого открытия указать его теоретическое обоснование. Построить фантограмму, из которой, по сути, было «вынуто» открытие. Выявить, какое научное противоречие было разрешено с помощью этого открытия. И основной этап исследования: эмпирически отыскать правила, по которым именно эти клетки и именно эти приемы привели к открытию. Правила, которые, по идее, должны быть применимы к *любой* морфологической таблице, для какой бы задачи она ни была составлена.

Чтобы сконструировать методологию изобретательских идей, понадобилось исследовать около ста тысяч авторских свидетельств, и ушло на это у Г.С. Альтшуллера около десяти лет. Коллектив ученых, обладая современными возможностями, каких не было в пятидесятых годах прошлого века, справится с этой задачей значительно быстрее. Главное – начать...

Но даже если, не зная эвристора, просто строить фантограммы, уже и в этом случае можно достигнуть прекрасного эффекта – натренировать воображение, научную фантазию, научиться думать раскованно. А возможно – и предсказать открытие...

Пользуясь фантограммой, можно сейчас сделать то, чего не сделали астрофизики больше сорока лет назад. Объединим все известные в то время свойства нейтронных звезд. Вот, что получится:

1. Нейтронная звезда вращается, и период ее вращения может быть намного меньше секунды.

2. У нейтронной звезды сильнейшее магнитное поле – десятки миллиардов гауссов.

3. Нейтронная звезда способна генерировать быстрые частицы, которые, попадая в сильнейшее магнитное поле, должны излучать.

4. Ось вращения нейтронной звезды может не совпадать с осью ее магнитного дипольного поля.

5. Вращающийся магнитный диполь (звезда) может быть источником излучения.

6. И главное – нейтронная звезда может быть активной.

Используя прием объединения, получим, что нейтронная звезда должна быть источником мощного излучения, и поскольку звезда быстро вращается, излучение должно быть переменным, причем период переменности должен совпадать с периодом вращения звезды вокруг оси. Иными словами, должны наблюдаться мощные источники излучения, переменные с необычными для астрономии периодами – меньше секунды! Здесь не сказано, в каком диапазоне длин электромагнитных волн должны излучать нейтронные звезды. Значит, нужно было искать во всех. Может, если бы к 1967 году была построена такая фантограмма, пульсары были бы *предсказаны*?

Сейчас ученые строят фантограммы подсознательно, выбор также делается интуитивно. А цель в том, чтобы научиться сознательно конструировать фантограммы, название которым – открытия. Разобраться в правилах, выявить типичные противоречия и способы их устранения. Потом можно и «забыть» все это, опять свести поиск и выбор к автоматизму. Но – к осознанному автоматизму.

Представим себе водителя, который, не умея управлять машиной, едет, полагаясь лишь на интуицию, по дороге, вымощенной открытиями. И представьте другого водителя, который изучил свою машину в совершенстве, умеет управлять ею так, что это уже стало его второй натурой, ушло в подсознание. Этот водитель тоже полагается на интуицию. Оба едут, любясь дорогой, отдавшись движению в незнаемое. От открытия к открытию. Но кто едет быстрее? И в какую машину сели бы вы, читатель?

## Глава седьмая Эпоха открытий

*Вод, в которые я вступаю, не пересекал еще никто.  
А. Данте*

### Открытие пульсаров

Английский радиоастроном Э. Хьюиш в 1948 году заинтересовался проблемой распространения радиоволн в прозрачной неоднородной среде. Это очень интересная и важная для астрофизики проблема.

Почему мерцают звезды? Проходя сквозь толщу земной атмосферы, свет встречает на своем пути неоднородности воздушного океана – разрежения и уплотнения, вызванные движениями воздуха. Из-за этого свет рассеивается, и нам представляется, что звезды становятся то ярче, то слабее – мерцают. В 1948 году набирала силы радиоастрономия, были открыты радиозвезды – точечные, подобные звездам, источники радиоизлучения. Радиоволны, как и видимый свет, проходят сквозь беспокойную земную атмосферу. Следовательно, радиозвезды тоже должны мерцать. Разница в том, что мерцания радиозвезд вызываются неоднородностями иного размера, расположенными на иной высоте. Э. Хьюиш и занялся исследованием радиомерцаний. Эта работа поглотила двадцать лет его жизни.

Э. Хьюиш был первым, кто сказал: радиозвезды мерцают не только потому, что радиоволны рассеиваются в земной атмосфере. Они мерцают еще и потому, что радиоволны проходят сквозь межпланетное пространство. Ведь оно вовсе не пусто – оно заполнено плазмой солнечного ветра, и неоднородности в этой разреженной плазме тоже способны вызвать колебания яркости далеких радиоисточников.

Эта гипотеза была подтверждена в 1964 году, а год спустя Э. Хьюиш начал проектировать для Кембриджской обсерватории новый радиотелескоп с площадью антенн 18 тысяч кв.м. Мерцания радиоисточников заметнее всего на длинных волнах – чем короче длина волны, тем слабее мерцания. Поэтому Э. Хьюиш выбрал для наблюдений довольно длинную волну 3,7 метра. Радиотелескоп он сконструировал сам. Сам же и построил – с помощью своих сотрудников и аспирантки Ж. Белл. Телескоп был не из самых крупных, к тому же кустарно сделанный. Достоинством, выделявшим этот инструмент среди других, было то, что с помощью нового радиотелескопа можно было исследовать быстрые мерцания радиоисточников. Аппаратура регистрировала изменения сигнала, продолжавшиеся десятки доли секунды. Никакие другие радиотелескопы того времени не были на это способны.

А теперь слово самому Э. Хьюишу, рассказавшему о своем открытии в Нобелевской лекции 1975 года.

«Радиотелескоп закончен был и испытан к июлю 1967 г., и нами был немедленно начат обзор неба... Фактически мы наблюдали всю доступную область неба с интервалом в одну неделю. Для обеспечения непрерывного контроля данного обзора мы решили наносить на карту неба положения (сразу же после анализа каждой записи) мерцающих радиоисточников и добавлять к ним точки, когда наблюдения повторялись через неделю. Таким образом, истинные точки можно было отличать от электрических помех, поскольку последние вряд ли могли повторяться на одних и тех же небесных координатах. Надо отдать должное Белл, которая смогла справиться с потоком бумаги от четырех самописцев.

Однажды, где-то в середине августа 1967 г., Жаклин показала мне запись флуктуирующего сигнала, который мог быть слабым источником, мерцающим, когда наблюдался в противоположном к Солнцу направлении. Это было необычно, так как сильное мерцание редко происходило в этом направлении, и мы сначала подумали, что принятый сигнал является электрической помехой. К концу сентября записи проводимого обзора показали, что источник детектировался несколько раз, хотя он и отсутствовал иногда, и я стал подозревать, что мы обнаружили вспыхивающую звезду, может быть, типа карлика класса М, которые в то время исследовал Ловелл. Однако положение источника все же менялось по прямому восхождению вплоть до  $90^\circ$ , и это было необъяснимой загадкой. Мы установили высокоскоростной самописец, чтобы изучить природу флуктуирующих сигналов, но не достигли успеха, так как интенсивность источника упала ниже нашего предела детектирования. В течение октября этот самописец использовался для заранее запланированных наблюдений другого источника (3С 273) в целях проверки некоторых аспектов теории мерцаний, и лишь 28 ноября мы получили первое доказательство, что наш загадочный источник излучает регулярные импульсы с интервалом чуть больше одной секунды. Я не мог поверить, что какой-нибудь естественный источник способен излучать таким образом, и сразу же обратился к астрономам других обсерваторий с вопросом, не экспериментируют ли они с приборами, могущими создавать электрические помехи во вполне определенное звездное время около 19 ч 19 мин.

В начале декабря интенсивность источника увеличилась, и его импульсы стали отчетливо выделяться над шумовым фоном. Зная, что сигналы в виде импульсов позволяют установить электрическую фазу, я пересмотрел записи нашего обзора. Этот пересмотр показал, что в действительности небесные координаты источника не менялись. Все еще будучи скептически настроенным, я подготовил устройство, которое через каждую секунду отмечало точное время, используя сигналы службы времени (MSF Rugby Time Service), и с 11 декабря были начаты ежедневные наблюдения. К моему удивлению, в пределах ошибки наблюдения 0,1 секунды сравнение записи сигналов с регулярным графиком показало, что



пульсирующий источник дает сигналы с точностью  $< 1 \times 10^{-6}$  с. В это время мои коллеги Пилкингтон, а также Скотт и Коллинз совершенно независимыми методами обнаружили, что сигнал характеризуется быстрым изменением частоты (примерно -5 Мгц/с). Из этого следовало, что продолжительность каждого импульса (при данной радиочастоте) равна примерно 16 мс.

Не видя никаких разумных «земных» объяснений для этих радиоимпульсов, мы стали предполагать, что их может генерировать лишь какой-нибудь источник, находящийся далеко за пределами Солнечной системы, а кратковременность каждого импульса заставляла думать, что источник по своим размерам не может быть больше небольшой планеты. Мы допускали вероятность того, что сигналы могли действительно генерироваться на планете, обращающейся около далекой звезды, и что они могли быть искусственными по происхождению. Я знал, что измерения времени, если их выполнять несколько недель, выявят любое орбитальное движение источника вследствие Доплер-эффекта, и, следовательно, до окончания таких измерений я должен был хранить полнейшее молчание по поводу нашего открытия. Эти недели в декабре 1967 г. были самыми волнующими в моей жизни».

Так вспоминал об открытии первого пульсара Э. Хьюиш, получивший за свое достижение Нобелевскую премию по физике за 1975 год. А вот что рассказывал советский физик, академик В.Л. Гинзбург:

«...Необычность состоит в том, что открытие несколько месяцев хранилось в тайне.

Велись наблюдения, обрабатывались материалы, но об этом знали лишь сотрудники одной лаборатории, а даже ближайшие «соседи» – астрономы и физики в том же старинном университетском городе Кембридже об обнаружении пульсаров и не подозревали. К числу таких жертв «секретности» принадлежу и я, так как находился в Кембридже как раз в этот период (с начала ноября 1967 г. по конец января 1968 г.). Должен признаться, что вначале мне подобная скрытность людей, которым я докладывал свои собственные результаты, с которыми мы обсуждали много научных вопросов, показалась обидной и странной. Но вскоре эти чувства прошли без остатка. Секретничание действительно было бы оскорбительным, если бы относилось к отдельным лицам, в частности, ко мне – гостю из другой страны. Но в том-то и дело, что результаты не сообщались никому из посторонних, и главное, как я уверен, скрывая свою работу, ее авторы руководствовались вполне достойными соображениями. Они хотели спокойно и обстоятельно провести наблюдения, сообщить надежные данные, а не поспешить с сенсационным сообщением (к тому же, вначале допускалось, что речь идет о приеме сигналов от внеземной цивилизации). При этом авторы рисковали – могло случиться, что пульсары обнаружит кто-либо другой и сообщит об этом раньше их. Нужна большая выдержка, как я думаю, характерная для всего стиля, царящего в знаменитом центре английской науки, чтобы в течение месяцев не сообщить о пульсарах. Кстати сказать, последующее развитие событий показало, сколь справедливо Э. Хьюиш и его коллеги (и, видимо, руководитель радиоастрономической обсерватории в Кембридже М. Райль) опасались, что опубликование сообщения о существовании пульсаров совершенно изменит весь характер их работы».

### **Маленькие зеленые человечки?**

Итак, строго периодическое излучение небесного тела с периодом около секунды существовать не может (науке такие тела неизвестны), но оно существует. Как разрешить такое противоречие?

Нужно либо изменить интерпретацию, либо объявить неверными наблюдения. Делать второе Э. Хьюиш не собирался. Но вот интерпретация... Импульс излучения первого пульсара продолжался всего 0,016 секунды – за это время свет пробегает около 5 тысяч километров. Таковы максимальные размеры объекта, посылающего сигнал! Это размеры планеты, размеры Земли. Значит, излучает какая-то планета? Никто никогда не

регистрировал никаких периодических сигналов от планет Солнечной системы. Может, излучает не сама планета, а *некто* на планете? Или нечто? Правда, был еще один вариант. *Есть* звезды размером с планету – это белые карлики. Или звезды, еще меньшие по размерам, – нейтронные. Может, это они и излучают? Но в такое было еще труднее поверить, чем в сигналы внеземной цивилизации. Ведь импульсы излучения пульсара повторялись через каждые 1,3373011017 секунды. Попробуйте найти даже среди точных часов, созданных разумом человека, часы с такой стабильностью хода! И еще труднее допустить, что такие часы существуют в «естественном» состоянии. Вероятно, для этого нужно было еще большее воображение, чем для предположения о внеземном разуме.

Даже после того, как в декабре 1967 года Ж. Белл обнаружила еще три пульсара (пришлось исследовать больше пяти километров регистрограмм), предположение о внеземных цивилизациях отпало не сразу. Даже названия у первых четырех пульсаров были такими: LGM 1, 2, 3 и 4, что было сокращением слов Little Green Men (маленькие зеленые человечки). Таким термином часто обозначали пришельцев из космоса – жителей других миров.

Редчайший случай в истории науки: ученый нарушил принцип «презумпции естественности»! Сначала Хьюиш и Белл исследовали возможность искусственного происхождения сигналов и лишь потом обратились к естественным причинам. Уже одно это говорит, насколько сильным было в середине шестидесятых годов прошлого века убеждение в том, что нейтронные звезды не могут быть активны.

И все же факты заставили Э. Хьюиша отказаться от идеи о внеземном разуме. Если излучение идет с планеты, обращающейся около звезды, это легко доказать. Представим, что источник обращается около звезды, то приближаясь к нам (половину периода), то удаляясь (другую половину периода). Когда источник приближается, импульсы поступают на антенну чаще, а когда удаляется – реже. Частота повторения импульсов должна периодически меняться, и период этот должен в точности совпадать со звездным годом на той планете, где обитают «маленькие зеленые человечки». Этот эффект и искали Э. Хьюиш с сотрудниками весь декабрь 1967 года, вот почему этот месяц был самым волнующим в их жизни. Решался вопрос – быть или не быть межзвездным контактам! И получилось – не быть. Наблюдения показали: частота повторения импульсов не меняется. Погибла идея о том, что передатчик находится на планете в далекой звездной системе.

Тогда пришлось обратиться к идее о белых карликах или о нейтронных звездах. Вот, что писал Э. Хьюиш:

«Оказалось, что доплеровское смещение точно соответствовало движению одной лишь Земли, и мы стали искать объяснение нашему явлению, связывая его с карликовыми звездами или с гипотетическими нейтронными звездами. Мои друзья в библиотеке при оптической обсерватории были удивлены, наблюдая радиоастронома, проявлявшего столь огромный интерес к книгам по эволюции звезд. Наконец я решил, что возможный механизм, объясняющий периодическое излучение радиоимпульсов, могут дать гравитационные колебания всей звезды, однако при этом основная гармоника колебаний белых карликов была слишком мала. Я предположил, что в случае белого карлика необходимо рассмотреть более высокие гармоники, а в случае нейтронной звезды с плотностью, самой низкой из всех возможных, я получил, что основные колебания могут обусловить необходимую частоту. Мы оценили также расстояние до источника при предположении, что изменение частоты связано с дисперсией импульса в межзвездной плазме, и получили значение 65 пс, т.е. обычное звездное расстояние.

Пока я старался связать наши несколько сумбурные результаты, Жаклин Белл в январе 1968 года с характерными для нее настойчивостью и трудолюбием расшифровала все записи нашего обзора и определила возможные положения других пульсаров. Были проведены повторные наблюдения с целью подтверждения пульсирующего характера их излучения, и к 8 февраля, моменту отправки нашей статьи в печать, мы были уверены в существовании еще трех новых пульсаров, хотя и их параметры были известны нам лишь приблизительно. Я

хорошо помню то утро, когда Жаклин вошла ко мне в комнату с записями сигналов возможного пульсара, которые она сделала этой ночью при прямом восхождении 09 ч 50 мин. Когда мы развернули эти записи и поверх их положили измерительную линейку, то сразу же обнаружили периодичность импульсов со временем 0,25 секунд. Это значение позже подтвердилось, когда приемник настроили на более узкую частоту, и столь быстрая частота следования импульсов этого пульсара весьма затруднила его интерпретацию с помощью модели белого карлика».

И лишь тогда, полностью убедившись, что пульсары существуют, что они – естественное природное явление, Э. Хьюиш с сотрудниками послал в журнал «Nature» сообщение об открытии. Статья поступила в редакцию 8 февраля 1968 года и вышла из печати в номере журнала от 24 февраля. Две недели – ни одна статья еще не была опубликована так молниеносно!

Правда, Э. Хьюиш не доказал, что обнаружены именно нейтронные звезды. Он лишь утверждал, что сигналы естественны и что причиной их вряд ли могут быть колебания белых карликов. Искомое доказательство нашел три месяца спустя американский астрофизик Т. Голд. Всего три месяца понадобилось, чтобы понять суть открытия. Психологическая установка – нейтронные звезды мертвы – больше не могла существовать.

### **Космический прожектор**

Т. Голд объединил, наконец, разрозненные идеи о свойствах нейтронных звезд и написал: пульсар – нейтронная звезда, обладающая сильным магнитным полем и быстро вращающаяся вокруг оси. Магнитная ось пульсара не совпадает с осью вращения. Такое предположение было естественным – ведь и у Земли географический и магнитный полюса не лежат в одной точке, и из-за этого обычный магнитный компас вовсе не показывает точно на север!

Но для чего нужно было вводить такое допущение? Дело в том, что, по идее Т. Голда, радиоизлучение пульсара возникает из-за того, что быстрые электроны, вырываясь из недр нейтронной звезды в области ее магнитных полюсов, попадают в мощнейшее магнитное поле. Силовые линии этого поля стремятся «загнуть» траектории движения частиц, возникает ускорение и, следовательно, излучение. Поскольку электроны движутся с почти световыми скоростями, они не могут излучать во все стороны. Электрон излучает преимущественно в направлении своего движения, и чем больше его скорость, тем в более узком конусе идет излучение. Если излучают электроны, вырывающиеся из области магнитных полюсов нейтронной звезды, то возникают два узких луча, два прожектора, расположенных на магнитных полюсах и освещающих космическое пространство.

Если магнитная ось и ось вращения звезды совпадают, то эффект пульсара не возникает. Ведь лучи прожекторов в этом случае неподвижны. Если нейтронная звезда «смотрит» на Землю своим полюсом, то наблюдатель всегда будет видеть направленный на него луч прожектора. Если полюс с Земли не виден, то наблюдатель не увидит и луча. Но если магнитная ось не совпадает с осью вращения, то конус излучения будет вращаться вместе со звездой – он станет «чиркать» по Земле, подобно лучу маяка, который виден лишь в моменты, когда излучение вращающегося прожектора попадает в глаза наблюдателя. Именно с небесным маяком лучше всего сравнить излучение пульсара – вращающейся нейтронной звезды. Такое излучение астрофизики быстро окрестили «карандашным» – два луча света действительно напоминают два вращающихся карандаша.

Излучение, однако, может быть и «ножевым» – тогда излучают электроны, движущиеся в плоскости магнитного экватора нейтронной звезды. В этом случае луч подобен не карандашу, а ножу, который мы видим, если он повернут к нам узкой стороной лезвия. И в том и в другом случае наблюдатель фиксирует сигнал лишь в течение очень непродолжительного времени по сравнению с периодом вращения звезды. Вспышки

продолжаются почти мгновение и повторяются через промежутки времени, равные периоду вращения нейтронной звезды. Именно то, что и наблюдал Э. Хьюиш.

Так-то оно так, и идея эта была быстро оценена по достоинству всеми астрофизиками, но... откуда все же берется энергия, излучаемая пульсаром? Откуда черпают свою энергию вырывающиеся из нейтронной звезды быстрые электроны? Из энергии вращения звезды, утверждал Т. Голд, повторив вывод, сделанный Н.С. Кардашевым тремя годами раньше. По идее Н.С. Кардашева, энергию вращения отнимала у нейтронной звезды газовая туманность – остаток сверхновой. И тратилась эта энергия на увеличение магнитного поля туманности и на ускоренное ее расширение. А по Т. Голду, эта энергия уходила на ускорение быстрых частиц. Но как происходит процесс перекачки энергии? Должен существовать некий механизм, отнимающий у нейтронной звезды энергию вращения и ускоряющий с помощью этой энергии до огромных скоростей элементарные частицы, да еще и выбрасывающий потом эти частицы из звезды. Как все это могло происходить, если звезда *мертва*?

Оживление мертвеца – вот к чему привело открытие пульсаров. Мы говорили об «убийстве» звезды, искали ее мертвое тело и вроде бы даже нашли, а оказывается – звезда жива! Она лишь переменяла обличье...

### Пульсар в Крабовидной туманности

Вернемся к Крабовидной туманности. Южная звезда – что это все-таки за объект? Если нейтронная звезда, как думал Ф. Цвикки, то и она, по идее, должна быть пульсаром!

Обидно за Крабовидную туманность, которая раскрыла нам столько загадок: было бы справедливо, если бы и первый пульсар обнаружили именно в Крабовидной туманности. И ведь так оно, в принципе, и было – наблюдатели много раз подходили к самому порогу открытия! Э. Хьюиш мог бы сообщить об открытии пульсара еще в 1965 году, но помешала вездесущая психологическая инерция. Вот что Э. Хьюиш писал впоследствии:

«Первый действительно необычный источник был открыт с помощью этого метода (метода исследования мерцаний – П.А.) в 1965 г., когда я вместе со своим студентом Окойе исследовал радиоизлучение Крабовидной туманности. Мы обнаружили интенсивную мерцающую компоненту этого радиоизлучения, локализованную внутри туманности и слишком малую по размерам, чтобы компоненту можно было объяснить обыкновенным механизмом синхротронного излучения, и мы предположили, что она может быть вызвана остатком звезды, уже взорвавшейся, но еще проявляющей активность в виде радиоизлучения типа всплесков. Как оказалось позже, этот источник был ничем иным, как знаменитым пульсаром в Крабовидной туманности».

Недостаток воображения – вот причина того, что пульсар в Крабовидной туманности не был открыт еще в сороковых годах. Об этом недвусмысленно сказал американский астрофизик Ф. Дайсон на Ферми-лекциях в 1970 году:

«Уже 35 лет назад было бы нетрудно установить, что звезда Бааде-Минковского обладает импульсным излучением, если бы у кого-нибудь хватило воображения использовать для наблюдений фотоумножитель, позволяющий получить хорошее разрешение во времени. Это может служить поучительным примером того, как часто люди не совершают великих открытий, потому что слишком доверяют ошибочным теоретическим аргументам. Излучение звезды не может пульсировать с частотой порядка миллисекунды, потому что она не может быть нейтронной звездой, потому что она слишком яркая! Разумеется, скрытый порок этого рассуждения состоит в том, что излучение не обязано (и не может) быть тепловым.

Лет десять назад я сам проявил подобную непростительную близорукость. Я тогда занимался пульсациями белых карликов, которые, как ожидалось, должны были иметь периоды порядка 10-30 секунд, и предложил Стрёмгрену попытаться обнаружить короткопериодическую переменность их излучения. У него как раз была подходящая система фотоумножителей, и он провел наблюдения двух белых карликов. Он не обнаружил

никаких изменений блеска, а у меня не хватило воображения попросить его повторить наблюдения для звезды Бааде-Минковского! Если бы он сделал это и тщательно обработал результаты, он открыл бы пульсар в 1961 году, тем самым изменив ход развития науки».

Поучительное свидетельство. Однако перейдем к фактам. Через год после открытия Э. Хьюиша австралийские радиоастрономы Д. Стейлин и Е. Рейфенштейн наблюдали Крабовидную туманность и обнаружили в ней пульсирующий радиоисточник, координаты которого точно совпали с положением южной звезды. К тому времени было известно уже около двух десятков пульсаров, и открытие еще одного не могло произвести сенсации. Тем не менее, сенсация произошла. Во-первых, пульсар был обнаружен в остатке сверхновой – еще один, пусть косвенный, аргумент в пользу того, что пульсары являются именно нейтронными звездами. И во-вторых, у пульсара в Крабовидной туманности оказался рекордно малый период следования импульсов – всего 33 миллисекунды. Пульсар в Крабовидной туманности посылает на Землю всплеск излучения 30 раз в секунду!

Тогда-то и отпали, наконец, последние сомнения в том, что обнаружены нейтронные звезды. В течение 1968 года – до открытия пульсара в Крабовидной туманности – появлялись теоретические работы, авторы которых пытались объяснить излучение пульсаров колебаниями белых карликов. Это трудно, но все же возможно, если привлечь высокие гармоники колебаний, высокие «обертоны» основной частоты. Но никакие обертоны не дадут возможности наблюдать при колебаниях белых карликов всплески излучения с периодом 33 миллисекунды. Это невозможно мало! И потому зимой 1968 года всем стало очевидно, что нейтронные звезды наконец-то обнаружены. Более того, блестяще подтвердилась идея Ф. Цвикки о том, что нейтронные звезды образуются при вспышках сверхновых, в процессе катастрофического коллапса.

### **Что мы видим, когда видим?**

Для астрономов-наблюдателей наступила пора прозрения. Время, когда пришлось убедиться, насколько это страшная штука – психологическая инерция.

Казалось бы, если явление реально существует, если приборы его фиксируют, то наблюдатели должны это явление видеть. Должны? Не всегда. Методика измерений сейчас столь сложна, что сами по себе показания приборов еще ни о чем не говорят, их приходится подвергать долгой и сложной обработке. Одно и то же показание прибора можно обработать по-разному и нередко получить разные результаты. А поскольку каждый наблюдатель еще до начала работы прикидывает, что он вероятнее всего получит, то в процессе измерений занимается тем, что ищет, существует ожидаемое им явление или нет. А побочные сведения часто остаются не учтенными.

Рентгеновское излучение Крабовидной туманности астрофизики наблюдали много раз. С 1963 года, когда оно было впервые обнаружено, состоялись десятки запусков ракет с рентгеновскими детекторами. Результаты проверялись и перепроверялись. Зимой 1968 года в Крабовидной туманности обнаружили пульсар. Возник вопрос: если пульсар так сильно изменяет свой радиоблеск, то почему остается постоянным рентгеновское излучение?

А может, оно и не постоянно, сказали наблюдатели, мы об этом не думали. Заметьте: не думали, а потому и не увидели! Новых ракетных стартов не потребовалось. Группа американских ученых, возглавляемая Е. Болдтом, неоднократно запускала ракеты для исследования Крабовидной туманности. Последний старт состоялся в марте 1968 года. Несколько месяцев спустя Болдт с сотрудниками заново обработал результаты этого полета с учетом того, что переменность рентгеновского источника может быть быстрой. И переменность нашли – точно такую же, как у радиопулсара, с периодом 33 миллисекунды. Вот вам и достоверность наблюдательных данных...

Смущенные наблюдатели решили реабилитировать себя до конца. Решили найти быструю переменность и у оптического объекта – южной звезды. Лет десять назад для

постановки такой задачи нужна была изрядная фантазия, а теперь не поставить ее было просто невозможно!

В январе 1969 года в обсерватории Стюарда при Аризонском университете Дж. Кок, Дж. Дисней и Дж. Тейлор провели серию оптических наблюдений южной звезды, используя фотоумножители, способные фиксировать быстрые колебания блеска, и открыли первый оптический пульсар. Восемьдесят лет астрономы наблюдали южную звезду, а после второй мировой войны даже догадывались (правда, лишь некоторые!), что это нейтронная звезда. Но ее пульсирующее излучение было обнаружено только после того, как пройти мимо этого открытия стало совершенно невозможно. Это открытие наблюдатели были *вынуждены* сделать.

Тридцатипятилетняя эпопея поиска нейтронной звезды в Крабовидной туманности завершилась морозными январскими ночами 1969 года...

### Как определить возраст

Ф. Цвикки утверждал, что нейтронные звезды возникают при взрывах сверхновых. Но во время взрыва образуется и газовая оболочка. Почему же пульсары в основном оказались не связаны с газовыми расширяющимися остатками сверхновых? Нет ли какого-то скрытого порока в рассуждениях Цвикки?

Правда, Крабовидная туманность не одинока. Пульсар был обнаружен в 1968 году и в другом остатке, расположенном в созвездии Парусов. Австралийские радиоастрономы открыли в этом остатке (он называется Vela X) пульсар с очень коротким периодом 89 миллисекунд.

Но главное не в этом. Газовая туманность – остаток взрыва сверхновой – довольно быстро рассеивается в межзвездном пространстве. Через несколько десятков тысячелетий после взрыва туманность уже очень трудно обнаружить, радиоизлучение ее уменьшается, газ смешивается с межзвездной средой. А пульсар светит в течение гораздо более длительного времени. Вполне может случиться, что туманности уже нет, а пульсар еще есть.

Чтобы согласиться с этой гипотезой, нужно знать, сколько же на самом деле времени светит пульсар. Мы пришли к выводу, что пульсар – это не мертвая нейтронная звезда. А нужно, вообще говоря, сказать – *пока* не мертвая. В конце концов, за счет чего бы пульсар ни излучал, запас энергии иссякнет, и нейтронная звезда станет именно такой, какой ее раньше и представляли: невидимым десятикилометровым «шариком» без признаков активности. Мы знаем, что энергия, идущая на излучение пульсара, черпается из энергии вращения звезды. Значит, энергия вращения должна со временем уменьшаться. Вращение звезды должно тормозиться. То есть период повторения импульсов должен непрерывно возрастать...

Такой эффект действительно существует. Периоды пульсаров увеличиваются. Впервые это обнаружил Д. Ричардс сразу после открытия пульсара в Крабовидной туманности. По измерениям Д. Ричардса, период этого пульсара (его обозначение PSR 0531+21) увеличивается на 0,05% в год. Вскоре было обнаружено, что период другого пульсара, расположенного в остатке сверхновой (пульсар в туманности Vela X обозначается PSR 0833-45), также увеличивается, но несколько медленнее, всего на 0,01% в год. Прошло несколько месяцев, и свои данные опубликовал Т. Коул, работавший в Кембридже под руководством Э. Хьюиша. Ему удалось обнаружить увеличение периода у всех четырех пульсаров, открытых в Кембридже. Правда, эти пульсары тормозили свое вращение значительно медленнее двух первых.

Теперь можно было приблизительно рассчитать, сколько времени светит тот или иной пульсар. Если период все время возрастает на определенную долю, то какое-то время назад период был вдвое меньше, а раньше – меньше вчетверо, в восемь раз и так далее. В конце концов можно добраться до момента, когда период вращения нейтронной звезды и вовсе был равен нулю. Ясно, что раньше этого момента пульсар существовать не мог, вот мы и

получили приблизительное время его рождения. На самом деле возраст пульсара ненамного отличается от времени, в течение которого период увеличивается вдвое.

Период пульсаций излучения южной звезды в Крабовидной туманности увеличивается на 1/2000 своей величины в год. Получается, что образовался этот пульсар примерно 2000 лет назад. Но мы ведь знаем, что сверхновая взорвалась в 1054 году. Возраст звезды Бааде-Минковского должен быть не два тысячелетия, а чуть меньше одного.

Не нужно, однако, требовать от метода больше того, что он способен дать. Возраст южной звезды был оценен в предположении, что торможение вращения пульсара всегда происходило равномерно. Но так ли на самом деле? Помните, как астрономы ошибались в определении возраста Крабовидной туманности? Они не учитывали, что туманность расширяется ускоренно...

Прием динамизации: мы принимали, что изменение периода вращения нейтронной звезды остается постоянным в течение длительного времени, а оно оказалось переменным. И наблюдатели нашли этому прямое доказательство.

### Звездотрясения

Австралийские радиоастрономы П. Ричли и Д. Даунс в 1969 году наблюдали пульсар в остатке сверхновой Vela X. Всю зиму наблюдения показывали, как и ожидалось, что период пульсаций стабильно увеличивается. С 24 февраля по 3 марта наблюдения не проводились, а когда радиотелескоп вновь направили на пульсар, то период его оказался совсем не таким, как ожидалось! Он почему-то не увеличился, а уменьшился. Пораженные наблюдатели продолжали исследования. Еще неделя, еще месяц... Пульсар тормозил свое вращение в том же самом темпе, что и до «инцидента», будто ровно ничего не случилось! Что же произошло? Странное явление было похоже на сбой пульса у совершенно здорового человека.

Несколькими месяцами позднее такой же сбой периода произошел у звезды Бааде-Минковского – поистине все аномалии неба собрались в этом уникальном объекте! Летом 1971 года опять сбился с ритма пульсар в Парусах. Да и пульсар в Крабовидной туманности не отставал.

Можно ли надежно определить возраст пульсара по замедлению его вращения, если период то и дело скачкообразно уменьшается? Да и как вообще объяснить такие сбои периода? Понятно, когда вращение звезды вокруг оси замедляется. Энергия вращения переходит в энергию ускоренных частиц и в излучение. Но почему период вращения уменьшается? Получается, в пульсар каким-то образом накачивается дополнительная энергия? Откуда?

Впрочем, объяснение оказалось достаточно простым. Дело в том, что энергия вращения звезды пропорциональна не только угловой скорости, но и моменту инерции. Представим, что энергия вращения на самом деле не изменилась, а угловая скорость вдруг уменьшилась. О чем это говорит? Только о том, что неожиданно уменьшился момент инерции звезды.

Казалось бы, не одно противоречие – так другое! Почему может вдруг уменьшиться момент инерции?

Момент инерции звезды определяется ее массой и размерами, а также тем, как распределено внутри звезды вещество, как быстро увеличивается плотность с приближением к центру звезды. Не будем говорить о массе – вряд ли масса нейтронной звезды может вдруг скачком уменьшиться. Но вот размеры и распределение вещества... М. Рудерман почти сразу после обнаружения сбоя периода у пульсара PSR 0833-45 дал объяснение этому феномену. Он предложил гипотезу «звездотрясения». Что-то происходит со звездой, ее беспокойные недра переживают какие-то катаклизмы, о которых сорок лет назад астрофизики не знали практически ничего. Напряжения в веществе нейтронной звезды неожиданно приводят к тому же, к чему приводят напряжения в земной коре – происходят «звездотрясения». Самое мощное землетрясение на нашей планете не в состоянии

уничтожить даже небольшой горный хребет – для этого недра Земли недостаточно активны. А «звездотрясения» в нейтронных звездах охватывают всю звезду, перестраивают ее недра, уплотняют их, и размеры звезды уменьшаются.

Насколько должен уменьшиться радиус нейтронной звезды, чтобы объяснить наблюдаемый скачок периода? Расчет показал, что звезда Бааде-Минковского в Крабовидной туманности в момент «звездотрясения» стала меньше всего на сотую долю миллиметра!

За прошедшие с тех пор годы астрофизики уже десятки раз наблюдали «звездотрясения» и в пульсаре в Парусах, и в пульсаре в Крабе, а наблюдения за пульсаром PSR J0537-6910 позволили даже научиться более или менее точно предсказывать, когда следует ожидать очередное драматическое изменение периода пульсаций. Оказалось, что интервал времени между двумя «звездотрясениями» прямо пропорционален интенсивности последнего «звездотрясения». В принципе, этого и следовало ожидать – если «звездотрясение» было мощным, то нужно больше времени, чтобы в коре звезды вновь накопились напряжения. Но все-таки для того, чтобы эту зависимость выявить, понадобилось восьмилетние наблюдения. За это время произошло 20 «звездотрясений», и двадцать первое удалось предсказать с точностью в два дня.

## Ода Крабу

Наблюдая торможение вращения пульсара, можно достаточно надежно определить: действительно ли именно энергия вращения идет на ускорение газовой туманности, на излучение туманности и пульсара. Достаточно ли для всего этого одной лишь вращательной энергии, или нужны еще иные источники?

Крабовидная туманность и звезда Бааде-Минковского излучают во всех диапазонах длин волн ненамного больше, чем  $10^{37}$  эрг/с. А какова величина потерь вращательной энергии? Изменение энергии вращения пропорционально моменту инерции нейтронной звезды, угловой скорости вращения и изменению этой скорости. Южная звезда вращается с угловой скоростью 190 рад/с. Ежесекундно эта скорость уменьшается на  $2,5 \times 10^{-9}$  рад. А момент инерции нейтронной звезды примерно равен  $3 \times 10^{44}$  г $\times$ см<sup>2</sup>. Перемножив эти числа, получим, что вращательная энергия южной звезды ежесекундно уменьшается примерно на  $10^{38}$  эрг. Этого вполне достаточно и для ускорения расширения туманности, и для ускорения релятивистских частиц, вспыскиваемых в туманность, и для излучения туманности и пульсара, и даже остается немного на другие виды излучений, которые еще не были зарегистрированы наблюдателями на Земле.

Так в 1969 году было доказано, что в Крабовидной туманности находится активная вращающаяся магнитная нейтронная звезда.

Нужно сказать, что нам очень повезло с самого начала нашего расследования. Повезло в том, что мы начали расследовать гибель звезды в 1054 году, а не какую-нибудь другую вспышку сверхновой.

Сверхновая 1054 года – поистине уникальный объект. Вспышка была такой яркой, что звезда-гостья была видна даже днем. Первым газообразным остатком сверхновой, обнаруженным астрофизиками, была Крабовидная туманность – остаток вспышки 1054 года. Первым остатком сверхновой, чей возраст удалось определить, была Крабовидная туманность. Первым известным остатком, расширяющимся ускоренно, является Крабовидная туманность. Первым остатком сверхновой, для которого была обнаружена внутренняя активность, быстрые движения «жгутов», была Крабовидная туманность. Первый остаток сверхновой, в центре которого была обнаружена оптическая звезда, – Крабовидная туманность. Южная звезда в Крабовидной туманности (звезда Бааде-Минковского) была первым объектом, о котором сказали – возможно, это нейтронная звезда. Среди первых радиоисточников, обнаруженных на заре развития радиоастрономии, числится Крабовидная туманность. Одним из первых обнаруженных рентгеновских



источников была Крабовидная туманность. Повезло даже в том, что Крабовидная туманность регулярно затмевается Луной, а ведь вероятность такого благоприятного расположения не так уж велика. Именно наблюдение затмения Крабовидной туманности Луной позволило определить размеры рентгеновского источника в этом остатке сверхновой. Одним из первых обнаруженных пульсаров стал пульсар в Крабовидной туманности. Этот пульсар обладает одним из самых коротких периодов вращения. Его пульсирующее излучение наблюдается в радио, оптическом и рентгеновском диапазонах. И наконец пульсар в Крабовидной туманности – среди немногих известных пульсаров, в недрах которых происходят «звездотрясения»...

Целый паноптикум астрофизических аномалий! И в чем нам особенно повезло, так это в том, что сверхновая 1054 года вспыхнула на расстоянии всего 6 тысяч световых лет от Солнца. Она ведь могла вспыхнуть и на противоположном крае Галактики! Кто знает, как пошло бы тогда развитие астрофизики?

Не приходим ли опять к противоречию? Мы стремимся доказать, что открытия можно делать не случайно, а по методике, но ведь вспышка сверхновой 1054 года со всеми ее аномалиями – именно случай... Что ж, это прекрасное противоречие! Открытие делается случайно, и в то же время оно не случайно. В этом диалектика познания. Мы можем предсказать, что должно быть обнаружено некое явление, но не всегда удается сказать, где именно, в какой области неба предсказанное явление нужно искать. Предсказание свойств пульсаров и остатков сверхновых звезд – закономерность. Открытие Крабовидной туманности со всем арсеналом ее уникальных свойств – случайность. Единичное явление может оказаться и случайным, общее же свойство всегда закономерно вытекает из прошлого опыта.

### Развитие научных систем

Научные теории – это сложные *системы*, развивающиеся по свойственным им законам. Научные системы отражают реальные свойства систем природных. И природные системы развиваются по свойственным им законам. Каждый элемент системы может обладать всеми свойствами, присущими системе в целом, а может обладать лишь частью этих свойств. И может – в крайнем случае – отражать лишь одно-единственное свойство системы. Крабовидная туманность – элемент природной системы «остатки сверхновых». К счастью, этот элемент обладает практически всеми свойствами всей системы!

Современной науке свойствен системный подход к изучаемым явлениям. Объект называют системой, если его можно каким-либо определенным образом расчленить на составные части – подсистемы, а подсистемы, в свою очередь, на элементы. Развитие научных систем приводит к тому, что системы сменяют друг друга. Если в одной из систем возникает противоречие, то при устранении его формируется другая система представлений. Старая и новая системы представлений могут не очень значительно отличаться друг от друга – тогда смена систем происходит естественно, без кризисов. Но может случиться и так, что старую систему приходится ломать и строить новую. Так, система представлений Эйнштейна об относительности пространства-времени сломала ньютоновскую систему представлений о пространстве, как о вместилище явлений, и о времени, как о простой последовательности событий.

Вспомним морфологические таблицы Ф. Цвикки. Это ведь тоже системы, объединяющие в своих клетках-элементах все наблюдаемые и ненаблюдаемые, но вероятные свойства тел и явлений. Со временем отдельные элементы системы (клеточки таблицы) приходят в противоречие друг с другом. И тогда система нуждается в изменении. Мы дополняем морфологическую таблицу осью изменений и называем ее фантограммой. Получается, что фантограмма – это *надсистема*, описывающая нашу систему во всех ее возможных изменениях. Проблема не в том, что фантограммы (надсистемы) и морфологические таблицы (системы) слишком велики. Проблема в том, что мы не знаем пока, как с такими

системами работать. Мы изменяем *всю* систему, где больше, где меньше, где-то что-то уменьшаем, где-то что-то увеличиваем, используем прием динамизации или прием «наоборот». Конструируем (мысленно и чаще всего подсознательно) множество надсистем и чаще всего не знаем, где и как искать то единственное решение, ту единственную клеточку таблицы, тот единственный элемент новой системы, который нам нужен и который является предсказанием открытия.

К тому же, каждый элемент системы, каждая клетка морфологической таблицы тоже могут являться системами со своими элементами. Системный подход многогранен. Говоря о фантограммах для системы «растение», мы сделали говорили о том, что изменять можно не только систему (дерево), но и подсистемы (вещество дерева, например) или надсистему (лес). В каждом случае возникает множество новых фантастических систем. Но и подсистема (вещество дерева) в свою очередь делима и представляет собой систему по отношению к своим ячейкам-подсистемам (например, ячейка – строение вещества). Фантограмма в принципе описывает гораздо более широкий класс явлений, чем тот, для описания которого ее строили. Описывает она и явления, которые, возможно, даже не существуют в природе.

Когда Э. Хьюиш обнаружил первый пульсар, он был так поражен, что пренебрег «презумпцией естественности» и предположил, что сигналы имеют искусственное происхождение. Так Хьюиш столкнулся с новой для себя системой – морфологической таблицей «Внеземной разум». Как многие ученые до и после него, Хьюиш методом проб и ошибок выбрал одну из подсистем – ту, которая приходит на ум первой и именно поэтому, вероятно, выбор это является ошибкой. Э. Хьюиш предположил, что *они*, достигшие в дали космоса высокой ступени разумности, мыслят и действуют так же, как мыслим и действуем мы. Более того – как мыслим и действуем мы *сейчас* и как, возможно, не станем мыслить и действовать завтра.

### Кто там, на звездах?

В шестидесятых годах прошлого века была популярна идея поиска радиосигналов от цивилизаций, обитающих на планетах в ближайших звездных системах – проект ОЗМА поиска таких сигналов уже закончился ничем, но энтузиазм еще не успел угаснуть. Разрабатывались варианты космических языков, автоматическая станция «Пионер», отправившаяся за пределы Солнечной системы, унесла на своем борту табличку с изображениями людей и расположением планет. А на Земле тысячи «очевидцев» наблюдали (да и сейчас наблюдают!) многочисленные появления «маленьких зеленых человечков» из летающих тарелок – межзвездных кораблей инопланетян.

Все это можно охарактеризовать одним словом – антропоморфизм. Мы не знаем, как могут выглядеть, как могут думать, как могут действовать разумные существа из далеких звездных миров. У нас нет примеров разумных цивилизаций, кроме нас самих. Морфологическая таблица «разумная жизнь» содержит пока одну-единственную реально известную клетку: человечество. Говоря об иных цивилизациях, о контактах с ними, ученые обычно, явно или неявно, говорят о нас самих. Предполагая, что исследует возможности контактов, человечество, в сущности, познает свои собственные – и ничьи больше – экспериментальные возможности. Человечество глядится в зеркало, но полагает, что нет никакого зеркала, что в рамке – даль бесконечного космоса...

Внеземные цивилизации могут быть, в принципе, совершенно различны. И прежде чем говорить о возможности межзвездной связи, прежде чем пытаться объяснять периодические сигналы пульсаров деятельностью разума, нужно построить морфологическую таблицу – систему внеземных цивилизаций. *Всю* систему, а не одну из подсистем! Оси – среда обитания (космос, поверхность планеты, поверхность звезды, недра планеты, океан...), микроструктура (атомарный уровень, молекулярный...), форма объединения (общество, симбиоз...), направление эволюции, темп эволюции... Осей этого морфологической

таблицы может быть много, типов цивилизаций – еще больше. Всякая наука начинается с систематизации. С систематизации внеземных разумов должна начать и зарождающаяся наука о внеземных цивилизациях.

Возникает вопрос: что систематизировать, если нам такие цивилизации неизвестны? Нужно систематизировать *возможности*! Если нет фактов, нужно построить систему артефактов. Такую систему методом проб и ошибок медленно, но верно строят писатели-фантасты. Каждое новое произведение о внеземной цивилизации – заполнение новой клеточки-подсистемы в огромной морфологической таблице. Попробуйте систематически достроить эту систему – вы найдете в ней и нас с вами, и мыслящий океан планеты Солярис, и разумных птиц, летающих под поверхностью планеты («Планетат – безумная планета» Ф. Брауна), и разумные стаи собакоподобных («Пламя над бездной» В. Винджа), и плазменное существо, обитающее в недрах Солнца («Правда» С. Лема), и мыслящие газовые облака («Черное облако» Ф. Хойла), и разумные галактики («Магелланово облако» С. Лема), и мыслящую Вселенную («Через двадцать миллиардов лет после конца света» П. Амнуэля), а также многие другие формы разума, описанные и еще не описанные фантастами...

В этой морфологической таблице будут клетки, которые позволят избавить науку от одного известного противоречия. Вот оно: внеземной разум, если он достаточно развит, должен проявлять себя в космических масштабах. Но он не может проявлять себя в космических масштабах, потому что ничего подобного не наблюдается!

Как обычно обходят это противоречие? Используют приемы *ограничения* и *локализации*. Ограничивают время жизни цивилизаций и локализуют возможные области зарождения разума. Суживают систему «внеземные цивилизации», искусственно выбрасывают из нее очень многие клеточки-возможности. При этом четко соблюдается принцип антропоморфизма. Просто сейчас *нет* разумных цивилизаций. Нет в ближайших окрестностях Солнца, нет в Галактике, а возможно, нет нигде во Вселенной. И.С. Шкловский в конце жизни считал более чем вероятным именно последнее предположение. Но что на самом деле представляет собой мнение известного ученого? Клетка «антропоморфные цивилизации» может действительно оказаться пустой. Означает ли это, что в космосе нет цивилизаций вообще? Пуста одна клетка системы – означает ли это, что вся система представляет собой пустое множество?

В фантастике нет постепенности, присущей науке, фантасты пользуются очень сильными приемами. Например – приемом искусственности. Используйте его, и проблема «молчания космоса» перестанет существовать. Точнее, фантасты заполняют морфологическую таблицу «космические сигналы» своими идеями.

Так, искусственными были объявлены квазары. Предполагалось, что мы видим на самом деле работающие двигатели чужих звездолетов («Порт Каменных Бурь» Г. Альтова). Искусственными образованиями были названы шаровые скопления (в том же рассказе). «Презумпция естественности» запрещает ученым не только принимать, но даже серьезно обсуждать подобные предположения. А между тем, все ли «естественные» объяснения небесных явлений истинны?

Пример: правильные короткопериодические переменные звезды. Их называют звездами типа RR Лиры. Период их пульсаций – всего несколько часов. Конечно, до точности пульсаров им далеко, но речь сейчас о другом. Представим, что когда-то около звезды такого типа на одной из планет возникла жизнь, а затем и разум. Жизненные процессы в организмах этих существ, их биологические ритмы будут определяться периодом пульсаций звезды. Начав галактическую экспансию, такая цивилизация будет прежде всего стремиться колонизовать планеты, обращающиеся вокруг звезд типа RR Лиры. А если таких звезд окажется мало, то разум будет стремиться изменить нужным образом параметры обычных звезд. Начнет вмешиваться во внутризвездные процессы, создавая пульсации, которые так ему необходимы для нормального существования. Не потому ли так много короткопериодических цефеид в шаровых звездных скоплениях – самых древних образованиях в Галактике?

Не думайте, что все, написанное выше, – лишь игра воображения, интересная для фантастики и не имеющая отношения к реальности. Да, игра, но – по правилам. И потому выигрыш в такой игре обеспечен. Морфологическая таблица «Деятельность иных цивилизаций» постепенно заполняется, и, к сожалению, ученые в этом почти не принимают участия. А между тем, какие-то клетки этой таблицы могут соответствовать реальности...

Внеземные цивилизации – пример системы, еще не исследованной, но очень богатой возможностями. И прекрасный объект для тренировки творческого воображения. Один из многих.

### С этажа на этаж

Об основных методах тренировки воображения мы уже говорили: о методе приемов, морфологическом анализе, фантограммах. Есть и другие методы.

Например, метод *ассоциаций* (фокальных объектов). На ум приходят прежде всего ассоциации близкие, родственные. Вы думаете о снеге и, по ассоциации, о дожде, о белом цвете, о погоде вообще... Вам говорят «поэт», и вы тут же отзываетесь: «Пушкин». Но наиболее продуктивны и в научном творчестве приводят к успеху ассоциации далекие, неочевидные, безумные. Поэтому для создания ассоциативных связей нужно использовать совершенно случайные слова. Например, «животное» и «туннельный эффект». Ничего общего? Давайте, однако, придумаем фантастическое животное, используя эту ассоциацию. Туннельный эффект – свойство элементарных частиц с той или иной вероятностью проникать сквозь потенциальный барьер. При чем здесь животное? Давайте, однако, фантазировать. Наше животное – обычное на вид, скажем, кот, но отличается тем, что способно *иногда* преодолевать любой силовой барьер. Или проходить сквозь стены (не всегда, а с определенной вероятностью). Может пройти, а может и нет. Жизнь у нашего кота сложная. Он знает, что от собаки может удрать сквозь стену. Но не знает – сможет ли сделать это в каждом конкретном случае. Возможно, и не получится. Можно написать рассказ о таком животном, даже о целой их колонии на далекой планете. Прилетают космонавты с Земли, располагаются, и неожиданно посреди комнаты возникает... Попробуйте сами написать на досуге такой рассказ.

Еще один метод тренировки воображения был предложен писателем-фантастом Г. Альтовым. Называется метод этажным конструированием.

Вот суть этажного метода. Выберем для начала объект, развитие которого хотим предсказать. Г.С.Альтов, например, писал о том, какие фантастические изменения могут произойти с объектом «космический скафандр». Выбрав объект, определим цель его существования. Для чего нужен скафандр? Чтобы оградить человека от влияния космоса: от вакуума, жесткого излучения и т.д. Итак, мы выбрали объект и цель. Первый «этаж» схемы представляет собой использование одного объекта (в нашем случае – одного скафандра). Человек в космическом скафандре – давно не фантастика, это работы в открытом космосе российских космонавтов и американских астронавтов на международной станции.

«Этаж» второй – много скафандров. Это и расселение людей в космосе, и эфирные города К.Э.Циолковского, давно описанные, в частности, А. Беляевым в романе «Звезда КЭЦ». На втором «этаже» возможны варианты: «очень много скафандров», «небольшое число скафандров» и т.д. Скажем, могут наступить времена, когда выпуск скафандров будет количественно ограничен, т.е. производство скафандров свертывается, когда их число достигает 500 (или, может быть, 500 тысяч). Фантастическое допущение создает сюжетные коллизии (скафандр – редкость, за обладание им ведется жестокая борьба) и позволяет на этом воображаемом полигоне проверить те или иные тенденции реальной космонавтики.

«Этаж» третий – достижение тех же целей, но уже без скафандров. Человек защищен от вредных влияний космоса, но скафандра на нем нет. Если на первых двух «этажах» происходило наращивание количества объектов, то здесь необходимо учесть возможный качественный скачок, придумать качественно новую фантастическую ситуацию, предсказать

если не открытие, то, по крайней мере, изобретение будущего. В научно-фантастической литературе можно найти и такие предсказания: это, прежде всего, так называемая киборгизация человека, создание разумных существ, в которых объединены лучшие качества человека и машины. Те части нашего тела, которые, сделанные искусственно, станут функционировать лучше данных нам природой, в будущем почти наверняка будут заменены.

Научно-техническое прогнозирование, продолжая в будущее современные тенденции, также приходит к аналогичному выводу, не продолжая его, однако, до качественного скачка – полной замены человека киборгом. Фантасты первыми разглядели такую возможность в эволюции человека. Один из прообразов литературных киборгов появился еще в 1911 г. в рассказе Д. Ингланда «Человек со стеклянным сердцем». Киборг, управляющий космическим кораблем, описан был в рассказе Г. Каттнера «Маскировка» (и, конечно, впоследствии – в сотнях других фантастических произведений). Человек, работающий без скафандра в условиях космоса или другой планеты, – тема таких прекрасных произведений, как «Город» К. Саймака, «Зовите меня Джо» П. Андерсона, «Далекая Радуга» А. и Б. Стругацких и многих других.

«Этаж» четвертый – ситуация, когда отпадает необходимость в достижении данной цели. В нашем случае – это ситуация, когда нет необходимости защищать человека от влияния космоса. Если на третьем «этаже» фантасты изменяли человека, приспособливая его к условиям космоса, то теперь пойдет речь о том, чтобы изменить внешнюю среду: если не станет вредного влияния космоса, то и защищать человека не понадобится. В повести «Третье тысячелетие» Г. Альтов предложил идею Большого Диска. Вещество Юпитера распыляют и рассеивают по всей Солнечной системе в плоскости эклиптики. В системе образуется диск из газа и пыли, плотность которого близка к плотности земной атмосферы на небольшой высоте. Дышать этим воздухом нельзя (впрочем, можно создать Диск, насыщенный кислородом), но в такой межпланетной атмосфере летают на обычных реактивных самолетах и даже на воздушных шарах. Между планетами появляются облака и тучи, гремят грозы, Солнечная система принимает значительно более обжитой вид.

Конечно, рассмотренные идеи третьего и четвертого «этажей» – вовсе не единственно возможные. Каждый волен придумать свой вариант ответа на вопрос, поставленный этажной схемой. На одном из «этажей» рассмотренной схемы можно разместить очень многие идеи научно-фантастических произведений. Например, известное всем «Великое Кольцо» из романа И. Ефремова «Гуманность Андромеды» – это второй «этаж» для события «контакты с внеземной цивилизацией с помощью электромагнитного излучения». На третьем «этаже» схемы расположен Тибетский опыт из того же романа. И, наконец, четвертый «этаж» схемы – ситуация, когда отпадает необходимость в достижении цели: обмен информацией с внеземными цивилизациями более не нужен. Одно из возможных решений: все цивилизации полностью идентичны, обмен информацией не имеет смысла. Может быть и иное решение: различные цивилизации изначально находятся в симбиозе, развитие одной невозможно без развития другой.

Наконец, можно представить такую ситуацию: цивилизации не имеют между собой решительно ничего общего, развитие их происходит в совершенно различных природных условиях. Например, земная цивилизация и цивилизация существ, каждое из которых представляет собой разумное гравитационное поле. Обмен информацией в этом случае тоже не имеет смысла. Представляю себе «внутреннее» восклицание читателя. Идея разумного гравитационного поля выглядит ненаучной, сугубо фантастической. Не настаиваю на научности идеи, но прошу обратить внимание: идея о разумных полях тяготения полностью соответствует четвертому «этажу» схемы. Эта фантастическая идея не претендует на статус прогностической. Цель идей подобного рода – расшатывание психологической инерции.

## Многообразный мир пульсаров

Мы, пожалуй, увлеклись развитием воображения, а ведь наше расследование еще не закончено. Мы узнали, как астрономы открыли пульсары – нейтронные звезды. После открытия прошло сорок лет – ничтожный срок по астрономическим меркам, но очень большой, учитывая, как быстро развивалась наука в последние полвека. За эти годы число известных пульсаров увеличилось до полутора тысяч, а морфологическая таблица «пульсары» заполнилась больше чем наполовину – не теоретическими предсказаниями (их, впрочем, тоже было достаточно), а вполне реальными, обнаруженными в природе новыми проявлениями нейтронных звезд. Тех самых, которые считались мертвыми телами, не представляющими интереса для астрофизики.

Мир пульсаров оказался необыкновенно разнообразным. Если посмотреть в морфологической таблице на ось «Периоды пульсаров», то обнаружатся звезды, чье радиоизлучение пульсирует с периодом несколько секунд (очень старые пульсары, уже потерявшие свою вращательную энергию), и звезды, обращающиеся вокруг оси около 700 раз в секунду – на самом пределе устойчивости, еще немного быстрее, и нейтронная звезда попросту начнет разваливаться, ее разорвут центробежные силы, которые на экваторе при таких скоростях вращения уже близки к силе притяжения.

На оси «диапазон излучения» мы обнаружим пульсары, излучающие только радиоволны (таких пульсаров сейчас известно около 1500), и пульсары, излучающие только в рентгене или в еще более жестких лучах. Есть пульсары, излучающие во всех известных диапазонах, и есть такие, которые излучают не всегда, а в течение некоторого времени – потом они исчезают, чтобы вновь появиться несколько недель или месяцев спустя.

Есть одиночные нейтронные звезды-пульсары, но обнаружены и пульсары-нейтронные звезды в двойных системах. Самые известные и изученные двойные системы, содержащие нейтронную звезду-пульсар – это Cen X-3 и Her X-1. Это – рентгеновские пульсары, они испускают периодические пульсы излучения в рентгеновском диапазоне, и механизм излучения не такой, как у радиопульсаров. Рентгеновский пульсар – это нейтронная звезда, на которую падает вещество, вытекающее из второй, обычной компоненты.

А еще есть рентгеновские барстеры – вспыхивающие источники рентгеновского излучения, которые, по-видимому, тоже являются нейтронными звездами.

И есть двойные системы, в которых нейтронная звезда-пульсар обращается вокруг не обычной звезды, а белого карлика или другой нейтронной звезды. Или даже вокруг черной дыры.

Обнаружены во Вселенной очень яркие вспышки гамма-излучения. Долгое время ученые спорили о природе таинственных гамма-всплесков, но сейчас общее мнение склоняется к тому, что и это тоже – нейтронные звезды, но наблюдаем мы их действительно в самый критический момент: когда уже не обычная звезда умирает, превращаясь в нейтронную, а погибает нейтронная звезда, сталкиваясь, например, с другой нейтронной звездой или с белым карликом. И в этой катастрофе рождается черная дыра – действительно конечный продукт эволюции звезд в нашей Вселенной.

Рассказ обо всех перечисленных (и многих других известных) проявлениях нейтронных звезд увел бы нас слишком далеко от темы нашего расследования. О некоторых, самых загадочных, я расскажу в следующей главе, где мы попытаемся, наконец, поставить точку в нашем расследовании, а для этого придется ответить еще на несколько вопросов:

Всегда ли рождение нейтронной звезды сопровождается вспышкой сверхновой?

Почему сверхновые вспыхивают?

И наконец: каковы сегодняшние представления о физической природе пульсаров?

## Глава восьмая Расследование подходит к концу

*...Почти в каждой детективной новелле наступает такой момент, когда исследователь собрал все факты, в которых он нуждается... Эти факты часто кажутся совершенно странными, непоследовательными и в целом не связанными. Однако великий детектив заключает, что в данный момент он не нуждается ни в каких дальнейших розысках и что только чистое мышление приведет его к установлению связи между собранными фактами. Он играет на скрипке или, развалясь в кресле, наслаждается трубкой, как вдруг, о Юпитер, эта самая связь найдена...  
А. Эйнштейн*

### «Тихий» коллапс

Подойдем к проблеме систематически. Есть сверхновые и есть пульсары. Мы связали их однозначно, но правильно ли это? В системе «пульсары и сверхновые» есть несколько подсистем. Вариант первый: все пульсары рождаются при взрывах сверхновых, и при взрыве каждой сверхновой рождается пульсар. Вариант второй: не все пульсары рождаются при взрывах сверхновых. Вариант третий: не каждый взрыв сверхновой приводит к рождению пульсара. Третий вариант можно, в свою очередь, разделить на элементы. Один элемент: взрыв сверхновой приводит к образованию не пульсара (нейтронной звезды), а черной дыры. Другой элемент: при взрыве сверхновой звезда разваливается полностью, никакого звездообразного остатка вовсе не образуется. Третий элемент: при взрыве сверхновой нейтронная звезда возникает, но не проявляет себя как пульсар по тем или иным причинам...

Видите, сколько возможностей? А мы все время говорили об одной. В ходе расследования нам нужна была рабочая гипотеза, но сейчас, когда нам скоро предстоит поставить точку, нужно исследовать и другие возможности. Например: образование пульсара без такого катастрофического явления, как взрыв сверхновой.

Казалось бы, в этом рассуждении уже содержится ошибка. Потенциальная гравитационная энергия нейтронной звезды составляет примерно  $10^{53}$  эрг. При катастрофическом коллапсе эта энергия должна выделиться. Не может же она исчезнуть! И выделиться эта энергия обязана быстро – процесс катастрофического коллапса продолжается секунды, самое большее – минуты.

Все это верно. Но в какой форме энергия выделяется? Мы все время полагали, что энергия выделяется, в основном, в виде электромагнитного излучения вспышки и частично переходит в кинетическую энергию разлета оболочки. Но вспомним – вся энергия, с которой связывается взрыв обычной сверхновой, вряд ли превышает  $10^{51}$  эрг. Это лишь сотая доля той энергии, которая действительно должна выделиться при коллапсе звезды!

Что же получается? Почти вся энергия – около 99% – покидает звезду в неизвестной пока форме. Но сказать «почти вся» или «вся» – разница невелика. Вполне могло быть и так, что коллапс произошел, пульсар образовался, а сверхновая не вспыхнула – какая-то, пока нам не известная причина унесла не *почти* всю, а *вообще* всю энергию...

Однако, вспышки сверхновых мы наблюдаем! Правда, из этого следует только то, что какая-то часть (может, большая, а может, малая, заранее не скажешь) нейтронных звезд

рождается с грандиозным фейерверком, а другая часть – без внешних эффектов. Энергия куда-то уходит, вот и все.

Куда и как? Обратимся к морфологическому анализу. Перечислим, какие виды энергий существуют в природе, кроме кинетической и лучистой (электромагнитной).

Например, гравитационная энергия – в форме гравитационных волн. Расчеты, однако, показывают, что, хотя гравитационная энергия звезды действительно может излучаться в виде гравитационных волн, на этот вид излучения тратится всего несколько процентов полной потенциальной энергии. Волны тяготения – все равно, что помощь мышонка в вытягивании репки. Правда, вытянул ее именно мышонок, но что бы он делал, если бы бабка с дедкой не взяли на себя 99% труда? Вот нам и нужно найти для нашей задачи таких бабку и дедуку...

Тепловая энергия. Энергия тяготения сначала переходит в тепло, а потом... Нет, тепловая энергия тоже не годится. Звезда теряет тепло с поверхности, это медленный процесс. Продолжается он не секунды, а месяцы и годы.

Есть еще ядерная энергия, энергия частиц. Как мы увидим, здесь и нужно искать решение. Но к этому мы вернемся позднее. Оставим на время физический подход и попробуем подойти к проблеме с точки зрения астрофизики. Допустим на минуту, что смерть звезды всегда сопровождается грандиозным фейерверком. Подсчитаем, сколько звезд с массами больше чандрасекхаровского предела умирает ежегодно в Галактике. Отдельно подсчитаем, сколько ежегодно рождается в Галактике пульсаров. И если оба числа точно совпадут, то...

Если оба числа точно совпадут, это может оказаться и случайностью. Вспомним, как все 12 сверхновых, обнаруженных Р. Минковским и Ф. Цвикки в тридцатых годах прошлого века, оказались сверхновыми первого типа. Был сделан «естественный вывод»: все сверхновые именно таковы. Слишком уж мала была вероятность случайного совпадения. Сейчас известно, однако, что сверхновые I и II типов вспыхивают в спиральных галактиках почти одинаково часто, а есть еще множество промежуточных типов, о которых стало известно лишь в последние годы. Или пример Крабовидной туманности – счастливая, богатая загадками случайность.

Можно привести немало примеров из истории астрономии, когда случайности, статистические отклонения определяли развитие исследований на годы и десятилетия. Но случайности только оттеняют закономерности. Все в природе происходит закономерно, но нужно помнить, что речь идет о закономерности статистической, где всегда есть риск появления случайного совпадения или отклонения. Если каждый год в Галактике рождается, скажем, одна нейтронная звезда, и если ежегодно в Галактике вспыхивает одна сверхновая, и если мы, к тому же, знаем, что эти два явления связаны, то из этого следует с определенной вероятностью, что связь эта *однозначна*.

Прежде чем перейти к числам, давайте проследим жизненный путь звезды, начиная с момента ее рождения.

### **Биография звезды**

Звезды рождаются из межзвездного газа, который сжимается под действием собственного тяготения и разваливается на сгустки. Каждый сгусток продолжает сжиматься, пока недра его не станут настолько горячими и плотными, что в глубине начинают происходить ядерные реакции синтеза. Так рождается звезда.

При рождении звезды имеют самые разные массы. Чем больше масса звезды, тем меньше вероятность ее рождения. Самые распространенные звезды в Галактике – это карлики с массами, меньшими, чем масса Солнца. Время их жизни так велико, что даже те карлики, которые родились вместе с Галактикой, еще не завершили свою эволюцию. Массивные звезды, напротив, живут недолго. Звезда с массой 10 масс Солнца светит так ярко, что весь свой запас ядерного топлива сжигает за сто миллионов лет. И погибает. Если бы такие



звезды не возникали постоянно и в наши дни, то давно не осталось бы в Галактике ни одной массивной звезды. Существует так называемое динамическое равновесие – сколько звезд с данной массой ежегодно рождается, столько же примерно и умирает, и потому общее число таких звезд в Галактике мало изменяется со временем.

Мы хотим знать, однако, сколько звезд определенной массы умирает в Галактике ежегодно. Из наблюдений обычных звезд мы можем определить, да и то приблизительно, только число рождений. Впрочем, если мы уверены, что умирает ровно столько звезд данной массы, сколько рождается, то достаточно, казалось бы, числом рождений и ограничиться...

На самом деле все не так просто. Звезда проходит нелегкий жизненный путь, ядерные реакции в ее недрах то замирают, то идут более интенсивно. Меняются источники энергии: когда кончаются запасы водорода, начинают «гореть» более тяжелые элементы. Кроме того, недра звезды постоянно «клокочут» – одни слои поднимаются вверх, другие опускаются, вещество перемешивается. Из-за этих, а также из-за множества других причин звезда постоянно «худеет» – теряет вещество. Масса звезды перед смертью оказывается заметно меньше той, что была при рождении. А сколько именно вещества звезда успевает потерять – точно неизвестно. Вот еще одна загадка, и, не разгадав ее, никто не сможет сказать, сколько именно звезд в Галактике имеет перед смертью массу, большую, чем чандрасекхаровский предел. Ведь если масса звезды в конце эволюции окажется меньше, чем 1,2 массы Солнца, то возникнет «всего лишь» белый карлик. Рождение белого карлика сопровождается красивым явлением – образованием и расширением так называемой планетарной туманности. А рождение нейтронной звезды? Можно ли, наконец, сказать, что оно всегда сопровождается вспышкой сверхновой?

### **Часто ли вспыхивают сверхновые?**

Если верны подсчеты звездных рождений, то нужно ожидать, что в Галактике каждые несколько лет коллапсирует одна звезда. А если верны подсчеты вспышек сверхновых, то числа получаются несколько иными...

В 1933 году Ф. Цвикки начал патрулирование далеких галактик с целью поиска сверхновых. Это патрулирование возобновилось после второй мировой войны, продолжается оно и сейчас, и чем чувствительнее становится аппаратура, тем большее число сверхновых удастся обнаружить ежегодно в той или иной галактике. Полвека патрулирования привели к открытию примерно 500 сверхновых. И несколько тысяч вспышек удалось обнаружить только за последние 20 лет. В 2002 году, например, были открыты и занесены в каталоги 334 сверхновые, вспыхнувшие в других галактиках!

Редко в какой галактике удастся наблюдать две или три вспышки. Поэтому, для того, чтобы оценить, как часто вспыхивают сверхновые, астрофизикам приходится использовать косвенные методы. Так, американский астрофизик Л. Барбон собрал еще двадцать лет назад в единый список все вспышки, подсчитал число галактик, в которых эти вспышки произошли, разделил число вспышек на число галактик и на время, в течение которого велось патрулирование, и получил, что, например, в спиральных галактиках, таких, как наша, одна вспышка сверхновой происходит каждые 30-100 лет. Довольно неопределенная величина. А между тем, некоторые исследователи считают, что сверхновые вспыхивают еще реже. Или, наоборот, чаще. Даже и сейчас, двадцать лет спустя после работы Барбона, точность определения частоты вспышек внегалактических сверхновых лучше не стала.

А если попробовать оценить, как часто вспышки сверхновых происходят в нашей собственной Галактике? Эта задача еще труднее.

В созвездии Кассиопеи находится ярчайший радиоисточник Cas A. Сверхновая, породившая эту туманность, вспыхнула примерно в 1700 году. Кассиопея никогда не заходит за горизонт в Европе. И все же долгое время считалось, что никто этой сверхновой не видел. 1700-й год – это уже почти сто лет после Галилея, Кеплера, Коперника.

Существовали телескопы. И все же вспышку в Кассиопее действительно не видел *почти* никто.

В 1979 году американский исследователь У. Эшворт, изучая труды астронома XVII века Д. Флэмстида, обнаружил его записи о звезде-госте. Оказалось, что вспышка произошла в 1680 году, звезде в максимуме яркости достигла всего лишь шестой величины и находилась на пределе возможности наблюдений невооруженным глазом! Д. Флэмстид включил звезду в свой каталог, опубликованный в 1725 году. Но когда каталог выходил вторым изданием (уже после смерти Д. Флэмстида), издатели решили, что звездочка в созвездии Кассиопеи занесена по ошибке – ведь на самом-то деле там, где ее обозначил Д. Флэмстид, на небе ничего не было... Два века должны были пронестись над миром, чтобы ошибка издателей была исправлена, а репутация Д. Флэмстида как первоклассного наблюдателя полностью восстановлена.

Почему же сверхновая 1680 года оказалась такой слабой? Дело в том, что в плоскости любой спиральной галактики, и нашей в том числе, очень много пыли и газа. Проходя через эти туманности, свет поглощается и рассеивается. А наше Солнце находится как раз вблизи от галактической плоскости. Мы видим нашу Галактику будто сквозь плотные светофильтры, сквозь темные очки. Блеск множества звезд доходит до нас ослабленным в десятки раз! Поэтому мы можем и не заметить даже такое явление, как вспышка сверхновой, что и показала наглядно история со звездой Флэмстида.

Как же оценить, сколько сверхновых вспыхивает в Галактике, если мы и видим их далеко не все? Надежность таких оценок невелика, но все-таки они есть. За два тысячелетия в небе Земли вспыхивали шесть сверхновых: в 183, 1006, 1054, 1572, 1604 и 1680 годах (правда, последнюю вспышку никто, кроме Д. Флэмстида, не наблюдал). Получается примерно одна вспышка каждые 330 лет.

Нужно, однако, учесть следующее. Мы наверняка не увидим вспышку, если она произошла за центром Галактики. Так что можно сказать, что лишь третья часть или даже четверть Галактики доступна для патрулирования сверхновых. И значит, реально сверхновые должны вспыхивать в Галактике в три-четыре раза чаще, то есть каждые 80-110 лет. Это не противоречит и тем оценкам, которые получены по исследованиям вспышек сверхновых в других галактиках, подобных нашей. Точность невысокая! Что поделаешь, лучшая оценка даже и сейчас невозможна.

Теперь нужно подсчитать, как часто рождаются пульсары. К сожалению, частота рождений пульсаров известна с еще меньшей надежностью. За 40 лет, прошедших после открытия первого пульсара, на эту тему опубликовано много работ. Выводы большинства астрофизиков близки друг к другу: пульсары в Галактике образуются довольно редко, в среднем раз в 30 лет.

Однако вопрос о том, совпадает или нет частота вспышек сверхновых с частотой рождения пульсаров, все еще остается открытым. Слишком уж пока невелика надежность оценок.

### **Время жизни пульсаров**

Еще одна актуальная проблема, связанная с астрофизикой пульсаров: сколько времени пульсар живет? Сколько лет проявляет активность нейтронная звезда? Мы говорим сейчас об изолированной нейтронной звезде, которой неоткуда брать энергию, кроме как из своих собственных запасов – оставшихся ей в наследство от звезды-родительницы.

Есть пульсары очень молодые (например, пульсар в Крабовидной туманности), а есть чрезвычайно старые, возраст которых перевалил за миллиард лет. Впрочем, последним оценкам особенно доверять нельзя. Они получены по величине степени замедления скорости вращения пульсара. А если период испытал сбой, если в пульсаре много раз происходили «звездотрясения»?

Американские астрофизики Б. Генслер и Д. Фрейд измерили в 2000 году собственное движение пульсара В 1757-24. Возраст этого пульсара, измеренный по скорости увеличения периода, составляет 16 тысяч лет. Но известно также (во всяком случае, об этом можно говорить с достаточно большой вероятностью), что пульсар этот образовался во время вспышки сверхновой, породившей газовую туманность, названную «Уткой» – впрочем, этот остаток по форме напоминает утку не больше, чем Крабовидная туманность – краба.

Проблема в том, что пульсар находится довольно далеко от центра «Утки» – и для того, чтобы за 16 тысяч лет пересечь это пространство, нейтронная звезда должна была двигаться со скоростью больше 1500 км/с. Вообще-то пульсары действительно имеют довольно большие пространственные скорости – по сравнению с обычными звездами. Нейтронная звезда может получить существенный «толчок», если взрыв сверхновой оказался хотя бы немного асимметричным или если взорвалась звезда, входящая в состав двойной системы. В среднем пространственные скорости пульсаров достигают 100-200 км/с. 1500 км/с – это слишком много!

Для проверки Генслер и Фрейд сравнили положение пульсара на двух изображениях, полученных с интервалом в семь лет, и обнаружили, что в действительности В 1757-24 движется со скоростью около 500 км/с – втрое медленнее, чем это получается, если правильно оценен возраст!

Противоречие между наблюдением (скорость, определенная по пространственному смещению) и интерпретацией (скорость, определенная по положению пульсара и оценке его возраста). Авторы исследования больше склонны были доверять прямым наблюдениям, нежели косвенным оценкам. Но тогда нужно принять, что истинный возраст пульсара В 1757-24 не 16000, а по крайней мере 40000 лет. Более того, верхняя оценка возраста этого пульсара, по Генслеру и Фрейлу, – 170 тысяч лет.

Правильно ли мы, однако, определили тип противоречия? Ведь пространственная скорость пульсара вычислена в предположении, что пульсар и остаток сверхновой физически связаны, и расстояние до этих объектов одинаковое. А если на самом деле пульсар В 1757-24 втрое ближе к Земле и лишь случайно проецируется на ту область неба, где расположен остаток сверхновой? Такие случаи совпадений уже бывали в истории астрономии XX века. И если так, то снимается противоречие, связанное с оценкой возраста пульсара. Правда, возникает другое – если «Утка» вовсе не тот остаток сверхновой, к которому «приписан» пульсар, то где же «правильный» остаток? Он ведь должен быть моложе «Утки», должен быть более ярким хотя бы потому, что втрое ближе и намного моложе... А такого остатка нет.

Через сорок лет после открытия пульсаров все еще нет надежности в определениях возрастов этих объектов, хотя, казалось бы, разве существуют в природе часы, более точные, чем те, что отсчитывают время торможения нейтронной звезды? Да, конечно, это очень точные часы, но измерять с их помощью можно время лишь в небольших интервалах – между «звездотрясениями».

Приходится обращаться к статистическим исследованиям. И опять оценки получаются не очень-то надежными. По-видимому, обычно через несколько миллионов лет после образования пульсара излучение его ослабевает, и пульсар «выключается». Несколько миллионов лет – срок недолгий по астрономическим масштабам времени. Один галактический год – время оборота Солнца вокруг центра Галактики – продолжается 200 миллионов лет. Значит, пульсар в среднем живет всего-то одну-две галактические недели!

Однако, на самом деле это не совсем так. А для нейтронных звезд, расположенных в тесных двойных системах, это чаще всего и вовсе не так. Умереть пульсару не дает вторая компонента системы – оптическая звезда, сохранившаяся после взрыва сверхновой.

Мы уже говорили о двойных системах, где одна из компонент нормальная звезда, а вторая – белый карлик. Такие системы могут проявлять себя, вспыхивая, как новые звезды (если вещество нормальной компоненты перетекает на белый карлик и накапливается, вызывая взрыв). Но вместо белого карлика в пару с обычной звездой может входить звезда

нейтронная. Как может выглядеть для наблюдателя такая система? К тому же, если использовать морфологический анализ, то нужно сделать вывод: компонентой нейтронной звезды в двойной системе не обязательно должна быть обычная звезда. Это может оказаться белый карлик или другая нейтронная звезда. Или даже черная дыра. Во всяком случае, никакую из этих возможностей нельзя исключить a priori, хотя, конечно, нужно учесть и эволюционные эффекты. Нейтронная звезда в паре с обычной должна встречаться в природе гораздо чаще, чем, например, система из двух нейтронных звезд. Причина понятна: если нейтронная звезда рождается в процессе грандиозного взрыва сверхновой, то этот взрыв способен попросту разорвать двойную систему. И если после первого взрыва у системы есть некий шанс сохраниться (орбита, по которой звезды обращаются друг около друга, вытягивается, становится эллипсом с большим эксцентриситетом), то шанс сохраниться после второго взрыва, естественно, оказывается значительно меньше. Однако, как бы то ни было, в Галактике должны существовать в той или иной пропорции двойные (и даже кратные) системы, в которых компонентой нейтронной звезды являются звезда обычная или белый карлик, или вторая нейтронная звезда, или даже черная дыра.

И всякий раз нейтронная звезда в двойной системе проявляет себя по-разному. За сорок лет, прошедших после открытия первого пульсара, удалось обнаружить в Галактике или за ее пределами, казалось бы, практически все мыслимые варианты двойных систем, содержащих нейтронную звезду. И практически все мыслимые варианты одиночных нейтронных звезд – пульсаров.

### **Рентгеновские источники – двойные системы**

Вспомним идею Я.Б. Зельдовича о том, что огромное поле тяжести нейтронной звезды должно притягивать газ и разгонять его частицы до скорости около 100 тысяч км/с. Когда такой газ достигает поверхности нейтронной звезды, возникает, говорим мы, рентгеновское излучение. Открытие пульсаров отвлекло нас от обсуждения этой идеи. Но астрофизики об аккреции никогда не забывали. Пока считается, что нейтронная звезда, замедлив вращение, перестает быть радиомаяком, аккреция остается единственным физическим процессом, наблюдая который мы можем надеяться отыскать старые нейтронные звезды. Впрочем, они давно уже открыты! В ходе расследования мы уже говорили о рентгеновских источниках. Гипотеза о том, что это горячие нейтронные звезды, быстро погибла. Но осталась жить гипотеза об аккреции.

Большинство ярких рентгеновских источников – это двойные звездные системы. Одна звезда в системе – обычная. А вторая – релятивистская: нейтронная или даже черная дыра. Мы говорили, что звезды, эволюционируя, теряют вещество. В двойной системе звезда теряет массу быстрее – ведь рядом расположена другая компонента, чье тяготение буквально «выдирает» вещество с поверхности звезды-соседки. Возникает поток горячей плазмы – вещество течет от обычной звезды к звезде релятивистской. Около релятивистской звезды образуется нагретый до миллионов градусов плазменный диск, где и возникает рентгеновское излучение.

И вот что важно. Если нейтронная звезда одинока (как, например, южная звезда в Крабовидной туманности), то измерить ее массу прямыми наблюдениями невозможно – современная астрофизика таких методов пока не знает. Иначе обстоит дело, если нейтронная звезда входит в двойную систему. Законы Кеплера связывают период обращения звезд в системе, расстояние между звездами и их массы. Период обращения звезд друг около друга надежно и очень точно определяется из наблюдений. Например, в системе рентгеновского источника Her X-1 (в созвездии Геркулеса) нейтронная звезда, обращаясь около звезды обычной, каждые 1,7 суток скрывается за ней. Происходит затмение рентгеновского источника. Значит, период обращения звезд в этой системе равен 1,7 суток. Теперь можно оценить и массы звезд. По современным данным, нейтронная звезда в системе Her X-1 имеет

массу 1,3-1,5 масс Солнца. Такая же нейтронная звезда находится в системах Cen X-1, Sco X-1 (первом из открытых рентгеновских источников) и многих других.

А вот в системе Cyg X-1 (в созвездии Лебеда) нейтронной звезды, по-видимому, нет. Дело в том, что релятивистская звезда здесь имеет массу не менее 3 масс Солнца. Нейтронная звезда – теоретически – не может быть такой массивной. Значит, в этой системе находится черная дыра? Астрофизики уверены, что это так и есть, но, тем не менее, однозначно это все еще не доказано, поскольку все имеющиеся аргументы – косвенные. Да, масса объекта велика, но, может, теоретики все-таки ошибаются, оценивая предельную массу нейтронной звезды? Существуют работы, согласно которым масса нейтронной звезды может достигать даже 5 масс Солнца. Да, рентгеновский источник в Лебеде обладает странной особенностью – его излучение испытывает хаотические колебания яркости, меняясь за короткое время, сотые доли секунды. Это совсем не характерно для нейтронной звезды-пульсара, но очень похоже на то, как должен излучать газ вблизи от черной дыры. Но и это лишь косвенная улика!

Важно, однако, вот что. Хотя и радиопульсар, и пульсар рентгеновский – нейтронные звезды, механизмы излучения у них принципиально разные. Обычный пульсар излучает радиоволны потому, что из недр нейтронной звезды вылетают быстрые частицы, теряющие свою огромную энергию в магнитосфере. Пульсар рентгеновский излучает потому, что около нейтронной звезды образуется плотный плоский плазменный диск из вещества, которое перетекло с поверхности второй компоненты системы. Вещество из диска в конце концов падает на нейтронную звезду, передавая ей, в частности, и свой вращательный момент. Иными словами, если радиопульсар теряет энергию вращения и тормозится, то рентгеновский пульсар вращательную энергию получает и должен вращаться все быстрее и быстрее.

В конце концов, к тому моменту, когда в двойной системе закончит свою эволюцию и вторая, обычная компонента, скорость вращения нейтронной звезды станет очень большой – в десятки и сотни раз больше, чем скорости вращения обычных радиопульсаров. А когда вторая компонента тоже «погибнет», то станут, как это обычно бывает, возможны несколько вариантов развития событий.

### Двойные пульсары

Соседка нейтронной звезды может, к примеру, потерять слишком много массы, взорваться она не в состоянии и становится белым карликом. Скорость вращения нейтронной звезды за то время, что происходила аккреция вещества, успела увеличиться, но эффект пульсара не исчез – еще и теперь из недр нейтронной звезды вырываются потоки быстрых частиц. Раньше, когда вторая компонента все еще была нормальной звездой, радиоизлучение пульсара поглощалось в аккреционном диске, и наблюдатель мог видеть лишь рентгеновское излучение, а сейчас диска нет, и пульсар вновь проявляет себя.

Первый такой пульсар был открыт Р. Халсом и Д. Тейлором в 1974 году (за это открытие авторы получили в 1993 году Нобелевскую премию). Расположенный на расстоянии 7000 кпс от Земли, пульсар PSR 1913+16 входит в двойную систему, где второй компонентой является невидимое тело с массой чуть меньше 1,4 масс Солнца – скорее всего, белый карлик, хотя нельзя исключить, что это старая нейтронная звезда, то самое «мертвое звездное тело», которое так долго искали астрофизики. Пульсар в системе PSR 1913+16 совершает 17 оборотов вокруг оси каждую секунду – казалось бы, это не так много, ведь пульсар в Крабовидной туманности делает в секунду 30 оборотов. Но звезда Бааде-Минковского молода, ей меньше тысячи лет от роду, она еще не успела затормозить свое вращение. Чуть более «старый» пульсар в остатке сверхновой Vela X в секунду делает 11 оборотов. По всем оценкам, возраст пульсара PSR 1913+16 намного больше – почему же он вращается так быстро?

Именно потому, что входит в тесную двойную систему. Если бы PSR 1913+16 был одиночным, то и вращался бы сейчас, конечно, гораздо медленнее, отдав почти всю свою вращательную энергию на излучение. В двойной системе ситуация иная. В какой-то момент, закончив эволюцию на главной последовательности, обычная звезда «разбухает» и заполняет своей массой так называемую полость Роша – область, где притяжение второй компоненты (пульсара) сравнивается с силой тяжести первой. Вещество как бы повисает в невесомости и начинает интенсивно перетекать ко второй компоненте – пульсару. Но сразу упасть на нейтронную звезду вещество не может – ведь оно обладает довольно большим моментом вращения, и каждая частица «выходит на орбиту» вокруг нейтронной звезды, как выходит на орбиту вокруг Земли брошенное с Луны тело, если его скорости достаточно, чтобы покинуть поверхность нашего естественного спутника. Вокруг нейтронной звезды-пульсара образуется диск из горячей плазмы. Со временем внутренние области диска оседают на поверхность нейтронной звезды, передавая ей свой вращательный момент. В результате получается, что нейтронная звезда (а она все еще не перестала быть пульсаром!) не замедляет свое вращение, а напротив, – ускоряет.

Сейчас известно несколько десятков таких короткопериодических или, как их иначе называют, миллисекундных пульсаров – все они практически наверняка были или являются и сейчас компонентами тесных двойных систем, все в свое время захватывали вещество, которым с ними делились обычные звезды – компоненты этих двойных систем.

В 1988 году был открыт пульсар, вращавшийся с еще большей скоростью – он делал в секунду 622 оборота! Долгое время казалось, что больше и быть не может – если еще ненамного увеличить скорость вращения, звезда просто потеряет устойчивость, центробежная сила на экваторе заставит вещество течь в пространство. Однако в 2005 году был обнаружен еще более быстрый пульсар PSR J1748-2446ad – он делает в секунду 716 оборотов вокруг оси! На сегодняшний день это – рекорд. Более того, теоретики вычислили, что нейтронная звезда в принципе не может обладать скоростью вращения, много большей, чем 700 оборотов в секунду – линейная скорость на экваторе в этом случае достигает почти 100 тысяч км/с и становится близка к скорости убегания с поверхности нейтронной звезды.

Интересно также, что пульсар PSR J1748-2446ad находится в шаровом скоплении Tersan 5, расположенном неподалеку от центра нашей Галактики. В шаровых скоплениях вообще аномально много миллисекундных пульсаров, входящих в двойные системы – в одном только Tersan 5 таких систем известно 33.

В плоскости Галактики миллисекундных пульсаров мало, в шаровых скоплениях – гораздо больше. И это, в принципе, понятно: звезды в шаровых скоплениях гораздо ближе друг к другу, там гораздо чаще одна звезда может захватить другую.

В 2003 году была обнаружена двойная система PSR J0737-3039, где пульсарами являются обе компоненты.

## Магнитары

Как видим, морфологическая таблица «нейтронные звезды» заполняется сейчас с удивительной быстротой – обнаружены в природе даже такие экзотические клетки таблицы, как нейтронные звезды с аномально большими магнитными полями (ось таблицы – «магнитное поле нейтронной звезды»). Величина магнитного дипольного поля на поверхности Солнца близка к 1 Гауссу. Если сжать Солнце до размеров нейтронной звезды, то через каждый квадратный сантиметр ее поверхности пройдет примерно в 10 миллиардов больше силовых линий – ведь магнитный поток при сжатии звезды сохраняется. Получается, что на поверхности «нормальной» нейтронной звезды величина магнитного поля может достигать десятков миллиардов гаусс. Есть, однако, магнитные звезды, на поверхности которых индукция магнитного поля в сотни и даже тысячи раз больше. Если нейтронная звезда возникнет в результате коллапса магнитной звезды, то и пульсар будет обладать магнитным полем, достигающим  $10^{13}$  гаусс. Казалось бы, еще больше магнитное поле

нейтронной звезды быть не может – и ось «магнитное поле нейтронной звезды» в морфологической таблице на этом значении можно обрубить. Однако, вспомним о психологической инерции! Да, если магнитное поле нейтронной звезды – всего лишь результат сжатия, то все верно, а если... Астрофизики уже один раз ошиблись, когда были уверены в том, что нейтронные звезды – мертвые тела. Что ж, вполне естественно, в таком случае предположение: магнитные поля нейтронных звезд могут увеличиваться и в результате каких-то внутренних процессов. В таком случае ось «магнитное поле нейтронной звезды» следует продолжить и для величин, больших, чем  $10^{12}$  гаусс.

Так и поступили в 1992 году американские астрофизики Р. Дункан и К. Томпсон. Согласно их расчетам, во время образования нейтронной звезды магнитное поле увеличивается не только обратно пропорционально площади поверхности коллапсирующего тела, но и в результате быстрых конвективных движений вещества, запутывающих и тем самым увеличивающих магнитное поле. В такой нейтронной звезды величина магнитного поля может достигать и вовсе чудовищной величины  $10^{15}$  гаусс! Описанные ими объекты авторы назвали магнитарами – это можно было бы назвать предсказанием открытия, если бы такие звезды не были уже известны ученым, но до появления работы Дункана и Томпсона природа этих объектов оставалась не объясненной.

Речь идет об источниках вспышек мягкого гамма-излучения, обнаруженных еще в конце семидесятых годов – в частности, группой Е.П. Мазеца в эксперименте «Конус» на борту советских автоматических станций «Венера». 5 марта 1979 года приборы сразу нескольких космических аппаратов зафиксировали мощнейшую вспышку мягкого гамма-излучения. Максимальное излучение продолжалось всего 0,2 секунды, однако яркость уменьшалась постепенно в течение 200 секунд, и, наблюдая за тем, как источник ослабевал, астрофизики обнаружили, что излучение пульсирует с частотой около 8 секунд. Этот источник получил название SGR 0526-66. Впоследствии было обнаружено еще несколько подобных вспыхивающих источников с пульсирующим рентгеновским излучением.

Опять пульсар! Понятно, что если это нейтронная звезда, то природа ее излучения совершенно иная, нежели у обычных радиопульсаров. И противоречий, которые нуждались в объяснении, тоже было достаточно. Начать с того, что период вращения нейтронной звезды (если это действительно нейтронная звезда!) здесь очень велик – 8 секунд, с таким периодом может вращаться очень старая нейтронная звезда, потерявшая практически всю свою вращательную энергию. Между тем, координаты SGR 0526-66 совпали с расположенным в Большом Магеллановом Облаке молодым остатком сверхновой N 49. Вот и противоречие (если, конечно, правильно отождествление гамма-источника с остатком сверхновой): молодая нейтронная звезда не может вращаться очень медленно, но она, тем не менее, делает один оборот вокруг оси за 8 секунд!

За время, прошедшее после открытия первого такого источника, были обнаружены еще 11 подобных объектов и опубликованы десятки (если не сотни) работ с попытками объяснить этот феномен. Как это обычно и бывает, когда работаешь методом проб и ошибок, за эти годы были сделаны все мыслимые пробы и все возможные ошибки, пока, наконец, Дункан и Томпсон не опубликовали свою работу, в которой, вообще говоря, не собирались объяснять природу источников мягких повторяющихся гамма-всплесков. Тем не менее, природу именно этих объектов они объяснили!

Если предположить, что объекты типа SGR 0526-66, 1806-20 и др. – это нейтронные звезды, обладающие аномально большим магнитным полем, до  $10^{15}$  гаусс, то все противоречия снимаются, теория и наблюдения, оказывается, прекрасно согласуются друг с другом. Стало понятно и то, почему эти нейтронные звезды излучают в жестком, а не в радиодиапазоне, и почему происходят мощные вспышки – причиной всему огромное магнитное поле, на три порядка большее, чем в «обычных» нейтронных звездах-пульсарах. Поле так велико, что его энергия буквально взламывает твердую металлическую кору нейтронной звезды, «звездотрясения» получают во много раз сильнее, чем, например, у пульсара в Крабовидной туманности, и вся накопленная энергия выделяется в мгновение

вспышке, которую можно наблюдать не только с противоположного края Галактики, но, похоже, и с противоположного края Вселенной.

Из-за того, что магнитное поле аномально велико, а черпается энергия магнитного поля и излучения все равно из энергии вращения, то получается, что магнитар тормозит вращение гораздо эффективнее, чем обычный пульсар – всего через какие-то сотни лет после своего возникновения нейтронная звезда-магнитар вращается медленнее любого «обычного» пульсара. Чтобы замедлить вращение до одного оборота в секунду обычному пульсару нужны сотни тысяч, а то и миллионы лет, а магнитару и тысячи лет хватит с избытком.

По современным представлениям, магнитар образуется, когда коллапсирует звезда, имевшая в начале эволюции массу 30-40 масс Солнца. Таких звезд в Галактике, естественно, намного меньше, чем звезд с массами 5-10 масс Солнца, которые становятся родителями обычных пульсаров, а потому и магнитаров обнаружено так мало, несмотря на то, что это едва ли не самые яркие во Вселенной объекты – конечно, в редкие мгновения супервспышек.

### Такие разные пульсары

За сорок лет астрофизики открыли и занесли в каталоги около 1500 пульсаров, излучающих в радиодиапазоне (среди них меньше 100 миллисекундных), несколько десятков рентгеновских пульсаров – компонент компактных двойных систем и чуть больше десяти пульсаров с аномально большим магнитным полем – магнитаров.

Я намеренно не указываю точных чисел, а лишь тысячи, сотни, десятки... Наблюдения продолжаются, клетки огромной морфологической таблицы «Пульсары» заполняются, каждый день астрофизики обнаруживают новые радиопульсары, рентгеновские пульсары, другие типы нейтронных звезд, включая магнитары или такой, например, аномальный источник, как вспыхивающий пульсар GRO J1744-28, обнаруженный приборами спутника RXTE. Этот пульсар, похоже, объединяет в себе свойства сразу многих объектов.

Открыт пульсар GRO J1744-28 был в декабре 1995 года во время полета спутника CGRO. Прибор BATSE, установленный на этом спутнике, исследовал небо в мягком гамма-диапазоне 20-60 кэВ. Сначала объект GRO J1744-28 классифицировали, как источник повторяющихся гамма-всплесков. Затем были обнаружены пульсации рентгеновского излучения с периодом 0,5 секунды. После этого оказалось, что источник входит в двойную систему с орбитальным периодом 12 дней. И что любопытно: нейтронная звезда и обычная (масса которой всего 0,2 массы Солнца) обращаются друг около друга по практически круговой орбите (эксцентриситет всего 0,026 – это аномально малое значение для систем с нейтронными звездами). Кроме того, что GRO J1744-28 представляет собой рентгеновский пульсар, он еще является вспыхивающим источником (они называются барстерами), а также в его излучении наблюдаются странные квазипериодические осцилляции, и это тоже особый тип источников...

Итак, как теперь уже хорошо известно, обнаружить старую нейтронную звезду, переставшую быть пульсаром, и даже черную дыру, можно, если эти объекты являются компонентами двойных звездных систем. Увидеть-то мы можем, но задача не просто в том, чтобы найти хотя бы одну такую звезду и убедиться в том, что они существуют. Задача в том, чтобы выяснить – сколько их, этих старых нейтронных звезд и этих совсем уж загадочных черных дыр. Ведь мы хотим ответить на вопрос: как часто образуются нейтронные звезды? Всегда ли при взрывах сверхновых? Пульсары нам пока ответа не дали – слишком ненадежны оценки. Не могут пока помочь и рентгеновские двойные системы – здесь статистика еще хуже, очень много параметров приходится оценивать «на глазок»... Так и не могут астрофизики-наблюдатели через сорок лет после открытия пульсаров ответить на простой, казалось бы, но очень каверзный вопрос, заданный Ф. Цвикки еще в тридцатых годах прошлого века...



## Немного теории

Если не могут помочь наблюдения, может, лучше обратиться к теории?

Теорию вспышек массивных звезд как сверхновых начали впервые разрабатывать в 1966 году У. Фаулер и Ф. Хойл. Их коллеги С. Колгейт и Р. Уайт продолжили исследования, рассмотрев, как могут взрываться менее массивные звезды – до 1,5 масс Солнца.

Вы еще не забыли о противоречии, о котором говорилось в начале этой главы? Коллапс протекает очень быстро – за минуты или даже секунды должна высвободиться энергия до  $10^{53}$  эрг. Но такая большая энергия не может выделиться так быстро. Нам не известен механизм, способный за считанные секунды отобрать у звезды и рассеять в пространстве такую энергию. Как избавиться от противоречия? Либо отказаться от быстрого коллапса, либо придумать «холодильник», способный все же отобрать у звезды излишек энергии. Оставлять энергию в коллапсирующем ядре звезды нельзя – огромная, в сотни миллиардов градусов, температура замедлит коллапс и может даже остановить его, а нам это вовсе ни к чему. Что делать?

Опять воспользуемся теорией решения изобретательских задач – ведь нам нужно сделать научное изобретение. В ТРИЗ первый шаг к решению задачи заключается в необходимости сформулировать ИКР – идеальный конечный результат. Что должно произойти в идеальном случае? Выделяющаяся потенциальная энергия должна превратиться в такой вид энергии, который *сам и беспрепятственно* исчезал бы из звезды. Была энергия – и нет ее!

Психологическая инерция возражает – это невозможно. Но все-таки, что мешает энергии попросту исчезнуть из звезды? Мешает плотное вещество звезды, которое в результате коллапса еще более уплотняется. Энергия пробивается наружу из недр постепенно, преодолевая слой за слоем. Тепло, выделившееся в центре Солнца, достигнет его поверхности через многие годы. При коллапсе все процессы протекают быстрее, потому что температура значительно выше, однако и тогда речь идет о днях или часах, но не о секундах.

Итак, помеха ясна: звезда непрозрачна для энергии. Что нужно сделать, чтобы устранить помеху?

Нужно сделать звезду прозрачной. Разве нет в природе частиц, для которых прозрачна любая звезда? Такие частицы есть – нейтрино.

Итак, нужно, чтобы в сжимающейся звезде прошли реакции с выделением нейтрино. Нейтрино уйдут в пространство и унесут излишек энергии. Именно такое решение и описали в своей работе С. Колгейт и Р. Уайт. При катастрофическом коллапсе электроны захватываются протонами, превращаясь в нейтроны и нейтрино. Мы уже говорили о реакции нейтронизации. В сущности, мы убиваем двух зайцев. Получаем нейтроны, из которых и состоит нейтронная звезда, а также нейтрино, которые уносят огромную энергию. После С. Колгейта и Р. Уайта было произведено очень много расчетов катастрофического коллапса, и сейчас общепризнанно, что именно нейтрино и антинейтрино уносят из звезды практически всю выделившуюся гравитационную энергию – около  $10^{53}$  эрг.

В принципе, нейтрино могут унести и всю энергию без остатка. На самом же деле в процессе катастрофического сжатия наступает момент, когда даже вездесущие нейтрино больше не в состоянии «продраться» сквозь вещество звезды. Нейтрино начинают поглощаться. Те нейтрино, которые успели покинуть звезду, унесли с собой почти всю энергию, а те, что остались вдруг запертыми, наталкиваются на вещество ядра, как на стенку, поглощаются этим веществом, передают ему свою все еще большую энергию, и тогда оболочка звезды, получив запас энергии и импульса, разлетается в пространство – происходит взрыв сверхновой.

Это хорошая идея. И от излишка энергии избавились, и взрыв сверхновой получили. Но каждую идею нужно подтверждать расчетами. Такую работу проделали в свое время группы В.С. Имшенника в СССР и Д. Арнетта в США – и получили странный вывод: взрыва не происходит. Оболочка, поглотив нейтрино и напитавшись энергией, конечно, разлетается, но поглощенной энергии оказывается слишком мало, и скорость разлета получается

небольшой, раз в двадцать меньше наблюдаемой. Все равно как если бы вместо взрыва гранаты лопнул воздушный шарик...

В конце концов, теоретики пришли к выводу, что взрыв все же можно получить, но если принять, что ядро коллапсирующей звезды имеет аномально большую плотность: около 5 тысяч тонн/см<sup>3</sup>. Чтобы получить такую плотность в ядре, пришлось сделать еще одно допущение – коллапсирует звезда, находящаяся в двойной системе, да еще при условии, что на нее перетекает вещество с поверхности соседней, нормальной звезды. Возникает внешнее давление, которое и заставляет ядро коллапсирующей звезды сжаться больше, чем обычно. Но тогда получается, что сверхновые могут вспыхивать только в тесных двойных системах, где идет процесс перетекания вещества. А как же быть с одиночными звездами?

Возникает очередное противоречие. С одной стороны, мы утверждаем, что при взрыве звезды образуется звездный остаток и выбрасывается оболочка – так говорят наблюдения. А с другой стороны, теория утверждает, что при взрыве звезда может разлететься полностью, либо коллапсировать практически без взрыва. Либо оболочка без звездного остатка, либо звездный остаток без оболочки. А нам нужно и то и другое. Ясно, что нужно что-то менять или в теории (так мы придем к научному изобретению), либо в интерпретации наблюдений (а здесь уже пахнет возможным открытием).

Конечно, прежде всего нужно усовершенствовать теорию. При коллапсе в звезде протекают сложнейшие физические процессы. Кто станет утверждать, что при расчетах учтены были хотя бы все основные явления и эффекты, не говоря о множестве побочных, которые представляются несущественными, а на деле могут оказаться важными? Теория упрощает процесс – например, во многих случаях не учитывает ни того, что звезда вращается, ни того, что она обладает магнитным полем. Однако, и вращение, и магнитное поле при коллапсе могут играть далеко не второстепенную роль. Впервые об этом написал Г.С. Бисноватый-Коган в 1970 году. Идея была достаточно проста. Ядро звезды сжимается, при этом его магнитное поле возрастает во много раз. Оболочка звезды падает вслед за ядром, но все же отстает и потому не может вращаться вокруг оси с точно такой же скоростью, что ядро. А ведь ядро связано с оболочкой общими для них силовыми линиями магнитного поля! Ядро вращается быстрее оболочки, и магнитные силовые линии наматываются на него. В результате вращение ядра тормозится, а вращение оболочки ускоряется. Оболочка звезды вращается все быстрее и быстрее. Наконец скорость вращения оболочки становится больше скорости убегания. Огромная центробежная сила мгновенно расшвыривает вещество оболочки – вот и взрыв! И не нужно никакого ядерного горючего. Все делают вращательная и магнитная энергии.

Нужно, однако, чтобы энергия вращения ядра передавалась в оболочку достаточно быстро. Коллапс продолжается считанные секунды, и за это время магнитное поле, играя роль посредника, должно успеть «перекачать» из ядра звезды в оболочку огромную энергию, достаточную для эффекта вспышки сверхновой. А для этого звезда должна изначально вращаться очень быстро, быстрее, чем средняя звезда нужной массы. Таких звезд, к сожалению, немного...

Так была похоронена еще одна гипотеза, еще одна клеточка из морфологической таблицы «Теория вспышек сверхновых» оказалась далекой от реальности.

Никто, впрочем, так до сих пор и не попробовал соединить все теории, в том числе и те, о которых мы не рассказывали. Ведь в звезде одновременно начинаются и ядерные реакции с выделением нейтрино, и магнитная намотка... Возможно, объединив все теории, мы и получим тот эффект, который никакая теория в отдельности дать не может?

### Путь к финалу

Наше расследование причин взрыва сверхновых так и не доведено до конца. Мы довольно четко представляем, как звезда рождается, как она живет. Довольно четко представляем, какие ядерные реакции протекают в ее недрах, как и почему звезда «на старости лет»

становится красным гигантом. «Загробную» жизнь звезды в стадии пульсара мы представляем уже значительно хуже. Почему все-таки ускоряются в недрах нейтронной звезды частицы – это еще неясно. И еще менее ясно, как протекает агония звезды.

Правильная теория взрывов сверхновых, конечно, будет создана. Но что, если мы идем в неправильном направлении? Ведь методики выбора верных идей из морфологического ящика все еще не существует. Исследователи по-прежнему полагаются на метод проб и ошибок. А проблема взрыва сверхновой очень сложна.

Отсутствие эвристора открытий и научных изобретений сильно осложняет жизнь ученым. Теория решения изобретательских задач была в первом приближении создана за десять лет, но продолжает развиваться и сейчас. Сколько времени нужно ждать, пока появится эвристор открытий? Сейчас делаются лишь первые шаги. Что мы умеем? Умеем пользоваться некоторыми правилами ТРИЗ – если научная задача сводится к изобретению, а не к открытию. Можем предсказать и открытие, если удачно воспользоваться фантограммой. Знаем методы развития творческого воображения, а это уже немалое достижение.

В старом советском фильме «Девять дней одного года» был такой эпизод: физики весело смеются над плакатом «Откроем новую элементарную частицу в текущем квартале». Их веселье понятно – ведь до сих пор работа мысли исследователя окутана таким густым туманом, что одно упоминание возможности планирования открытий вызывает смех. Но всегда ли так будет?

Надеюсь, что нет.

### **Конец расследования Заключение**

Расследование гибели звезды в 1054 году подошло к концу. Мы внимательно изучили все обстоятельства, аргументы, доказательства и прочие материалы по делу. И можем теперь вынести такое официальное заключение.

1. Янг Вэй-Тэ в 1054 году, Тихо Браге в 1572 году, Иоганн Кеплер в 1604 году и Джон Флэмстид в 1680 году наблюдали на небе звезды, неожиданно вспыхивавшие и исчезающие несколько месяцев спустя. Эти вспышки (за исключением вспышки 1680 года) были значительно ярче вспышек так называемых новых звезд. Звезда-гостья 1054 года была видна даже днем! Эти необычные вспышки выделены в отдельную группу и названы сверхновыми.

2. В связи с исключительностью явления была выдвинута гипотеза о том, что вспышка сверхновой свидетельствует о *гибели* звезды. Научное расследование поставило перед собой цель провести оперативный розыск тела погибшей звезды.

3. В ходе изучения обстоятельств дела был сделан вывод о том, что вспышка сверхновой связана с финальной стадией жизни звезды. Более того, лишь те звезды, которые «в старости» обладают массами более 1,2-1,4 массы Солнца, способны закончить свой жизненный путь таким грандиозным взрывом. Менее массивные звезды умирают без шума, сбрасывая оболочку (планетарную туманность) и превращаясь в белые карлики. После гибели массивных звезд, согласно теории, возникают нейтронные звезды или черные дыры. Эти звезды называются релятивистскими и описываются теорией тяготения Эйнштейна.

4. Был начат оперативный розыск нейтронных звезд и черных дыр, причем астрофизики первоначально придерживались предположения о том, что эти объекты являются мертвыми телами, не проявляющими никакой собственной активности.

5. Сорок лет назад были открыты первые пульсары – нейтронные звезды, излучающие радиоимпульсы с очень строго выдержанными периодами между ними. Таким образом, была опровергнута версия о том, что нейтронные звезды являются мертвыми телами. Чрезвычайно высокая активность пульсаров заставила усомниться в том, что катастрофический коллапс является смертью звезды. Нет, происходит лишь смена «образа жизни», звезда переходит в качественно новое состояние. «Погибшая» звезда – нейтронная – живет «после смерти» еще долго, проявляя себя в великом множестве интереснейших

феноменов – от простых радиовсплесков до супервспышек, способных на короткие мгновения «осветить» всю Вселенную.

6. Были исследованы причины, вызывающие перемену в образе жизни звезды. Экспертиза показала, что в настоящее время невозможно точно описать сложный процесс взрыва сверхновой.

7. Научное расследование велось методом проб и ошибок, что требовало значительной непроизводительной затраты мыслительной энергии и обладало малым коэффициентом полезного действия. Были исследованы возможные методы интенсификации научной работы: морфологический анализ, методы фантограмм и приемов, мозговой штурм, синектика. Предпочтение отдано алгоритмической методике прогнозирования научных изобретений и открытий. Впрочем, такая методика еще не создана и, похоже, классический метод проб и ошибок еще долгое время будет оставаться единственным, активно используемым в практической научной деятельности.

8. Очень важно обучение методам развития творческого воображения. Упражнения по развитию фантазии заставляют мыслить более широко и раскованно, преодолевать психологическую инерцию, систематически исследовать все варианты решения научной задачи, сколь бы безумными решения не представлялись.

9. Таким образом, завершая расследование гибели звезды, о которой говорил в 1054 году император Чжао Чжень, мы делаем окончательный вывод:

Не гибель, нет, а новое рождение –

Вот, что сулит сверхновой появленье!

\* \* \*

Однако... Мы так рады завершению работы, что даже заговорили стихами? Речь, однако, идет не о завершении работы, а о начале нового расследования. Наука не имеет конца, одна загадка сменяет другую, разрешив одно противоречие, мы сталкиваемся с другим, еще более сложным. Чего было больше в нашем расследовании – разгадывания загадок или загадывания новых?

Новых загадок было побольше... И значит, работы хватит еще надолго. И чем сложнее окажутся научные загадки, тем больше фантазии должны будут проявлять наблюдатели в розыске «подозреваемых». Прогресс ускоряется, сегодня ученый обязан думать быстрее и лучше, чем вчера.

Исследования становятся все сложнее. Морфологические таблицы явлений и интерпретаций раздаются вширь и вглубь. Исследователь должен обладать недюжинной фантазией, творческое воображение его должно взлетать все выше, иначе он, даже будучи знатоком, рискует «плавать» на поверхности океана, лишь смутно догадываясь о чудесах и красотах, скрытых глубоко под поверхностью...

Судить труд ученых будет история. Она скажет, кто прав, и кто ошибался. История произнесет приговор любой идее, любой теории. Но одно можно сказать твердо: Вселенная вечна, а значит, вечна и наука. Вселенная – самый большой выдумщик – неисчерпаема на загадки. Отгадывать их – самое большое удовольствие.