

Серия 9 физика Математика Астрономия 1965



Член-корреспондент АН СССР  
В.Л. Гинзбург

# Современная астрофизика

16



**В. Л. ГИНЗБУРГ,**  
*член-корреспондент АН СССР*

# СОВРЕМЕННАЯ АСТРОФИЗИКА

*(Некоторые результаты  
и перспективы; тенденция развития)*

**ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»**  
**Москва 1965**

**523.8**

**Г 49**

**А**строномия зародилась в древности и, видимо, не будет преувеличением считать ее ровесницей цивилизации. Вместе с тем значение астрономии, внимание к ней на разных этапах истории не были одинаковыми: периоды относительного затишья сменялись эпохами замечательных открытий. Датой рождения одной из таких эпох мы должны, конечно, считать 4 октября 1957 года, когда был запущен первый искусственный спутник Земли. Возможность посылать аппаратуру и людей в космическое пространство имеет, разумеется, большое общечеловеческое значение, далеко выходящее за пределы часто научной и, в частности, астрономической стороны дела. Но даже если сосредоточить внимание только на научных вопросах, то значение запуска спутников и космических ракет трудно переоценить. С другой стороны, было бы неправильно обсуждать научные проблемы, связанные с запуском спутников и ракет, вне их связи с характером и тенденцией развития современной астрономии и астрофизики.

Какова же эта тенденция и что сейчас типично для астрономии и ее составной части — астрофизики? Какие проблемы в области астрономии — науки о Вселенной, о космосе, представляются в настоящее время фундаментальными или особенно важными и актуальными?

Мы не претендуем на то, чтобы сколько-нибудь полно ответить на эти вопросы, и можем предложить вниманию читателей лишь ряд замечаний, иногда дискуссионного характера, касающихся проблем, результатов и путей развития современной астрофизики.

## **Что наиболее характерно для астрофизики середины нашего века?**

Иногда утверждают, что отличительной чертой развития науки в наши дни является высокий темп этого развития. С такой точкой зрения, если речь идет о науке в целом или о таких больших направлениях, как астрономия, физика, биология

и математика, вряд ли можно согласиться. В самом деле, что такое темп развития науки? Очевидно, это есть нечто аналогичное темпу роста промышленности и может характеризоваться приростом продуктов производства, скажем, за год. Правда, «научный продукт» значительно труднее оценить или как-то измерить, чем продукты народного хозяйства, которые более или менее успешно можно оценивать непосредственно в деньгах.

Но имеется все же немало показателей, которые характеризуют темп развития науки. К числу таких показателей принадлежат: число научных работников, материальные затраты на научные исследования, количество научных журналов и помещаемых в них статей. Сведения, которыми мы на этот счет располагаем, к сожалению, весьма неполны. Они свидетельствуют о том, что за последние 200—300 лет темп роста науки в целом или отдельных больших научных дисциплин отличается исключительным постоянством и составляет примерно 5—7% в год.

Довольно резкие изменения темпа наблюдались в период двух мировых войн, но в целом за большой период, как сказано, темп развития науки отличается известным постоянством и этот факт не должен вызывать особого удивления. Дело в том, что постоянство годового процента прироста продукции, в частности научной продукции, означает следующее: прирост продукции, например, увеличение числа научных статей в данном году, пропорционален уже достигнутому уровню производства, т. е. количеству статей, публикуемых за год в рассматриваемый период времени.

Можно думать, что такой закон постоянства темпа развития не будет действовать беспредельно, но в современную эпоху и в ближайшем будущем несомненно еще не вступят в строй факторы, лимитирующие количественный рост производства и науки.

Даже при 5% годового прироста научной продукции эта продукция увеличивается всего в 10 раз за 50 лет, а за 100 лет она возрастает уже в 100 раз. В то же время население земного шара в среднем за последнее столетие возрастало примерно на 1% в год, следовательно, за 100 лет население увеличилось только в три раза (в XVII и XVIII веках темп роста населения был ниже). Разный темп роста науки и населения является отражением и, если угодно, проявлением того общеизвестного факта, что роль науки в жизни человеческого общества все больше возрастает.

Возвращаясь к нашей теме, можно констатировать, что отнюдь не высокий темп развития существенно отличает современную астрономию от астрономии последних трех столетий. Такое утверждение легко подкрепить, например, сравнивая размеры астрономических инструментов,

Телескоп, который Галилей впервые в истории направил на небо 7 января 1610 года, был изготовлен его собственными руками и имел в длину всего около метра, а диаметр был немногим более 5 сантиметров. Постепенно размеры телескопов возрастали и самый большой современный оптический телескоп, вступивший в строй в 1948 году, имеет зеркало уже диаметром в 5 метров. Отсюда следует, что угловое разрешение и светосила телескопов, которые характеризуются диаметром и площадью линз или зеркал, возросли соответственно в 100 и 10 000 раз.

Если говорить не о количественной стороне вопроса, а о качестве, играющем в науке особую роль, то здесь также никак нельзя недооценивать замечательных достижений наших предшественников. Открытия Галилея, а он обнаружил горы на Луне, пятна на Солнце, фазы Венеры, 4 спутника Юпитера, установил, что Млечный Путь — это скопление звезд, несомненно, великие открытия, ничем не уступающие по своему значению в истории науки лучшим научным достижениям последнего периода.

Особенность современного этапа нужно, таким образом, искать преимущественно в самом характере развития астрономии, в появлении каких-то новых черт. И такие черты, действительно, видны даже невооруженным глазом.

В древние времена, во времена Галилея, в XIX веке и, практически, до 1945 года в астрономии существовала монополия — использовался практически только оптический метод исследования. Дело в том, что атмосфера Земли пропускает электромагнитные волны оптического диапазона только с длиной волны, большей 0,3 микрона и короче нескольких микрон; глазом же можно видеть лишь излучение с длиной волны в пределах от 0,4 до 0,75 микрона. Вот через это оптическое окно прозрачности в атмосфере, а в большинстве случаев даже только в видимой части спектра и проводились все наблюдения.

Между тем во Вселенной излучаются, распространяются и несут разнообразную информацию электромагнитные волны всех диапазонов с длиной волны от километров до ничтожных долей миллиардной части сантиметра. Поэтому и без дополнительной аргументации очевидно, что наблюдение космоса только через оптическое окно прозрачности чрезвычайно обедняет картину.

Наиболее характерной и важнейшей чертой современного этапа в развитии астрономии и астрофизики (практически речь идет о периоде после 1945—1948 годов) является как раз появление и все более широкое применение неоптических методов. Наибольшую известность и значение приобрел радиометод, связанный с использованием радиокна прозрачности в земной атмосфере. Этому окну отвечают волны с длиной от

нескольких миллиметров до десятков метров. Меньше чем за 20 лет радиоастрономия необыкновенно развилась и разветвилась и сейчас сама уже делится на метагалактическую и галактическую радиоастрономию, солнечную радиоастрономию, лунно-планетную радиоастрономию и радиолокационную астрономию.

Электромагнитные волны, лежащие вне пределов упомянутых окон прозрачности, не достигают земной поверхности, и для их наблюдения необходимо использовать баллоны, ракеты и спутники. До земной поверхности, помимо света и радиоволн, доходят только метеориты, космические нейтрино и гравитационные волны (существование последних следует из общей теории относительности Эйнштейна).

Изучение метеоритов является давно известным способом, но он сейчас переживает вторую молодость в связи с большим усовершенствованием методов радиохимии, порожденным работами в области практического использования ядерной энергии.

Что касается приема нейтрино и гравитационных волн, то он еще не осуществлен.

В этой брошюре нет, очевидно, никакой возможности даже кратко останавливаться на всех новых методах в астрономии и мы лишь перечислим их.

*1. Радиоастрономия.* На земле производится прием излучения с длиной волны от миллиметров до десятков, а иногда и сотен метров. На спутниках можно принимать излучение с длиной волны до одного или нескольких километров. Спутничная радиоастрономия уже сделала первые шаги.

*2. Оптическая астрономия, базирующаяся на спутниках и ракетах.* Даже в пределах оптического окна прозрачности наличие атмосферы отрицательным образом сказывается на качестве изображения (изображение искажается и мерцает за счет потоков воздуха и т. п.). Поэтому перед оптической астрономией использование спутников и ракет также открывает широкие возможности для дальнейшего прогресса. Кроме того, выдающийся интерес представляет прием ультрафиолетового и инфракрасного излучения, лежащего вне оптического окна прозрачности в атмосфере (ультрафиолетовая и инфракрасная астрономия). В этих направлениях уже получены интересные результаты, но ожидать можно еще несравненно большего. Кстати сказать, вместо искусственных спутников с успехом можно использовать Луну, которая лишена атмосферы и в этом отношении является идеальным местом для астрономической обсерватории.

*3. Рентгеновская и гамма-астрономия.* Длина волны типичных рентгеновских лучей составляет стомиллионную долю сантиметра. Длина волны гамма-лучей еще короче. В этой области спектра особенно ярко проявляются квантовые свой-

ства электромагнитного излучения и вместо длины волны удобно характеризовать излучение энергией составляющих его квантов (фотонов).

Так, к рентгеновским лучам обычно относят излучение, для которого фотоны имеют энергию от нескольких сотен до многих десятков тысяч электроновольт. Фотоны с еще большей энергией называют уже гамма-фотонами. Для сравнения укажем, что радиоактивные вещества испускают гамма-лучи с энергией, достигающей миллионов электроновольт, Современные ускорители позволяют получить гамма-фотоны с энергией в миллиарды электроновольт. В космосе же, несомненно, встречаются фотоны и с еще гораздо большей энергией.

Рентгеновская и гамма-астрономия, если не говорить о некоторых особых случаях, может развиваться только с использованием ракет и спутников. Рентгеновское излучение Солнца изучается уже несколько лет и в этом направлении получено довольно много результатов. В 1962 и 1963 годах сделала первые шаги также космическая (несолнечная) гамма и рентгеновская астрономия. На этой новой ветви астрономии мы несколько подробнее остановимся в одном из разделов брошюры.

*4. Изучение первичных космических лучей.* Помимо электромагнитных волн и упоминавшихся незаряженных частиц — нейтрино, обладающих исключительно высокой проникающей способностью, в космосе путешествуют и достигают земли космические лучи. Эти лучи состоят из быстрых заряженных частиц: протонов, ядер различных элементов, электронов и позитронов. Характерной чертой космических лучей является исключительно высокая энергия некоторых входящих в их состав частиц. Так, уже наблюдались частицы (протоны или ядра) с энергией, достигающей 100 миллиардов миллиардов электроновольт, что в 3 миллиарда раз больше энергии частиц, полученных в самом совершенном, построенном до сих пор ускорителе.

Изучение космических лучей проводится около полувека, но только применение баллонов, ракет и спутников позволило исследовать те первичные частицы, которые приходят непосредственно из космоса. Понятно, поэтому, что астрофизика космических лучей — изучение астрофизического аспекта проблемы космических лучей<sup>1</sup> по сути дела начала развиваться сравнительно недавно (ядра в составе первичных космических лучей были обнаружены в 1948 году, а позитроны лишь в 1963 году).

---

<sup>1</sup> Изучение космических лучей представляет большой интерес и в другом плане — как метод исследования элементарных частиц и их взаимодействий. Этого аспекта, его обычно называют ядерным, мы здесь касаться не будем.

5. *Прямые методы исследования с помощью спутников и космических ракет.* Речь идет об измерениях непосредственно на спутниках и ракетах, например, концентрации заряженных частиц в потоках плазмы (ионизованного газа), испускаемой Солнцем. Сюда относится изучение микрометеоров, фотографирование Луны и планет с близкого расстояния, а в будущем и прямое исследование поверхности Луны и планет. Эта область, разумеется, важна и очень интересна, но ей в печати было посвящено так много материалов, что мы смело можем не касаться ее здесь подробнее.

К числу прямых методов можно отнести также радиолокацию Солнца, Луны и планет. Это направление, возраст которого не составляет и двадцати лет, принесло интересные результаты, которые также уже были довольно широко освещены в печати.

6. *Нейтринная астрономия* только зарождается, но, вероятно, уже в близком будущем принесет первые плоды — приведет к обнаружению солнечных нейтрино. Это позволит получить сведения о ядерных реакциях, протекающих в самых недрах Солнца; нейтрино излучаются в ходе этих реакций, происходящих в основном в наиболее горячей центральной части Солнца. Кстати сказать, такая возможность заглянуть с помощью «нейтринного телескопа» в глубь Солнца (радиус Солнца равен примерно 700 000 километров) показалась бы совершенно фантастической не только в прошлом веке, но и лет 30 назад. Сейчас же такие опыты вполне реальны и, вероятно, скоро будут проведены.

Возможно, что в будущем откроется также возможность приема гравитационных волн космического происхождения, но здесь еще не видно конкретных путей решения задачи.

Как мы уже подчеркивали, многие тысячелетия или столетия, если речь идет о периоде, начатом исследованиями Галилея, все сведения о космосе получались только наземными оптическими методами, а также в небольшой степени по метеоритным данным. Поэтому появление за короткий период в два-три последних десятилетия сразу многих разнообразных и существенно новых методов, перечисленных выше, составляет подлинную революцию в астрономии.

Эта революция по своему значению вполне сравнима с той, которая была связана с переходом от визуальных наблюдений к применению оптических телескопов.

Как и всякий революционный процесс, становление и развитие новых астрономических методов сопряжено с определенными трудностями, на чем мы еще остановимся в конце брошюры. Сейчас же хотелось бы подчеркнуть, что никакие новые методы в астрономии не могут умалить значение классического оптического метода. Наземная оптическая астрономия, разумеется, также не стоит на месте, а совершенствуется

в соответствии с быстрым прогрессом современной электроники и вообще физики и техники. Таким образом, новый этап в астрономии состоит не в отказе от использования оптических телескопов, а в их сочетании с радио, ультрафиолетовой, рентгеновской и гамма-астрономией, методами физики космических лучей и нейтрино, а также космической радиолокацией и прямыми измерениями на спутниках и ракетах.

## Новые результаты астрофизических исследований

Новые методы в астрономии не только представляются чрезвычайно перспективными, но и успели уже принести результаты фундаментального значения. Ярким примером является обнаружение радиогалактик (т. е. галактик — скоплений из сотен миллионов или миллиардов звезд, особенно сильно излучающих в радиодиапазоне), открытие сверхзвезд, обнаружение радио- и рентгеновского излучения оболочек сверхновых звезд, исследование нейтрального водорода во Вселенной, обнаружение и изучение очень разнообразного по своим формам солнечного радиоизлучения, а также неоднородностей плотности (облаков) межпланетной плазмы.

Нужно также упомянуть открытие и исследование радиоизлучения Луны, Юпитера, Венеры и некоторых других планет, осуществление радиолокации Солнца, Луны и планет, выяснение выдающейся роли космических лучей во Вселенной, получение снимков обратной и видимой сторон Луны, сделанных с близкого расстояния.

Почти всем упомянутым вопросам посвящено очень большое число статей и в ряде случаев на эти темы написаны специальные монографии. Известное представление о размахе работы можно сделать, если мы укажем, что, например, в монографии В. Л. Гинзбурга и С. И. Сыроватского «Происхождение космических лучей» (изд-во АН СССР, 1963) цитируется более 400 статей, а в монографии В. В. Железнякова «Радиоизлучение Солнца и планет» (изд-во «Наука», 1964) приведены ссылки примерно на 900 работ. Общее же число статей на соответствующие темы, вероятно, по крайней мере в десятки раз больше.

Здесь мы можем сделать еще лишь несколько замечаний, касающихся полученных результатов и их значения.

Для того чтобы стала очевидна важность изучения Вселенной за пределами оптического диапазона, остановимся на кар-

тине неба в радиолучах. Так, диаметр Солнца в метровых радиоволнах заметно превосходит его видимый глазом оптический диаметр и, что более важно, радиояркость Солнца подвержена сильным колебаниям — иногда она меняется в сотни тысяч раз; в то же время изменение яркости испускаемого Солнцем света невелико — его можно заметить лишь с помощью специальных измерений.

Различие между оптической и радиокартинками Солнца объясняется тем, что метровые радиоволны излучаются солнечной короной — самой разреженной и легко подверженной возмущениям высшей частью солнечной атмосферы, которую можно видеть глазом лишь во время полных солнечных затмений.

Хотя пример Солнца и достаточно хорошо показывает, что оптические и радионаблюдения отнюдь не дублируют друг друга, этот факт еще более ярко проявляется для других объектов.

Некоторые источники, которые удается лишь с большим трудом сфотографировать в самые сильные телескопы, в радиодиапазоне по яркости конкурируют с Солнцем! Таков, например, радиисточник Кассиопея А, представляющий собой оболочку сверхновой звезды, вспыхнувшей в нашей звездной системе — Галактике около 250 лет назад. Расстояние до источника Кассиопея А составляет около 10 000 световых лет, в то время как от Солнца до Земли свет доходит за 8 минут.

Другим радиисточником, конкурирующим с Солнцем по своей радиояркости, является Лебедь А, представляющий собой далекую галактику, находящуюся от нас на расстоянии примерно в 700 миллионов световых лет. Источник Лебедь А — представитель довольно многочисленных во Вселенной радиогалактик.

Разница между радиогалактиками и нормальными галактиками станет более ясной, если мы укажем, что наша Галактика, являющаяся нормальной, и Лебедь А излучают примерно одинаковое количество света, но мощность радиоионизации Лебеда А в миллион раз больше, чем мощность радиоионизации Галактики.

Открытие радиогалактик (оно было сделано в 1946—1953 годах) показало, что в мире галактик и в нашу эпоху происходят бурные взрывные процессы, которые и приводят к появлению мощного радиоионизации. Недавно было выявлено существование особого класса радиогалактик с относительно малыми размерами.

Кроме того, в следующих двух разделах мы остановимся на астрофизике космических лучей и другой интереснейшей проблеме — проблеме нейтронных звезд и возможности их обнаружения методами рентгеновской астрономии.

## Астрофизика космических лучей

Из чего состоит космос, каковы элементы Вселенной? Еще несколько лет назад большинство астрономов и представителей других специальностей ответили бы на этот вопрос так: Вселенная состоит из звезд, которые группируются в галактики, из межзвездного и межгалактического газа и из твердой фазы (планеты, космическая пыль и т. п.). Сейчас же, несомненно, к этим элементам нужно добавить космические лучи. Дело, разумеется, не в том, что космические лучи вообще существуют и путешествуют в межзвездном пространстве — этот факт известен уже несколько десятилетий. Но до сравнительно недавнего времени считалось, что космические лучи это, так сказать, частное и для астрономии в целом маловажное явление. Вот это и оказалось неверным.

Во-первых, космические лучи — их генерация и накопление, являются всеобщим космическим феноменом: космические лучи образуются и на Солнце и, несомненно, на всех или на большинстве звезд; в огромных количествах космические лучи возникают при взрывах сверхновых звезд, а в дальнейшем частично удерживаются в расширяющихся газовых оболочках, являющихся продуктом взрыва сверхновых; еще больше космических лучей имеется в галактиках и особенно в радиогалактиках, где их генерация связана с какими-то взрывами в галактических ядрах.

Во-вторых, как уже отмечалось, космических лучей во Вселенной много в том смысле, что их энергия и давление играют существенную роль и, например, в значительной мере определяют энергетику и динамику разлета оболочек сверхновых звезд, радиоизлучающих облаков в радиогалактиках и т. д.

В космосе существуют магнитные поля (это доказано разными способами, в частности, в соотношении межпланетного пространства, путем непосредственных измерений на космических ракетах). Поля эти слабы — характерное значение поля в межзвездном пространстве составляет стотысячную долю эрстеда (земное магнитное поле на полюсе равно примерно половине эрстеда). Однако слабость межзвездных полей, можно сказать, компенсируется их огромной протяженностью. В нашей Галактике, например, характерное расстояние, на котором существенно изменяется поле, в среднем достигает десятков световых лет<sup>1</sup>. Для того чтобы понять, как такое по-

---

<sup>1</sup> Световой год, т. е. расстояние, проходимое светом за год, равно примерно  $10^{18}$  см =  $10^{13}$  км (расстояние от Земли до Солнца равно  $1,5 \cdot 10^8$  км = 8 световым минутам; расстояние от нас до ближайшей к Солнцу звезды, находящейся в созвездии Центавра, составляет около четырех световых лет).

ле действует на заряженные частицы, нужно сравнить указанный масштаб поля с радиусом траекторий частицы в этом поле — как известно, в магнитном поле заряженная частица движется по винтовой линии, а если ее скорость строго перпендикулярна магнитному полю, то по окружности.

Радиус этой окружности в случае протонов и электронов  $R = \frac{E}{300H}$  см, где  $H$  — напряженность магнитного поля в эрстедах и  $E$  энергия частицы в электроновольтах (предполагается, что частица является, как говорят, ультрарелятивистской, т. е. ее скорость очень близка к скорости света, или что то же самое, энергия  $E \gg Mc^2$ , где  $M$  — масса покоя частицы и  $c$  — скорость света). В поле  $H \sim 10^{-5}$  эрстеда для типичных частиц космических лучей с энергией  $E \sim 10^{10} \div 10^{11}$  электроновольт радиус  $R \sim 10^{13}$  см, т. е. порядка расстояния от Земли до Солнца. В то же время, как было указано, масштаб космических магнитных полей в Галактике в миллионы раз больше, в силу чего действие межзвездного поля на космические лучи не только не мало, но, напротив очень велико<sup>1</sup>.

Межзвездные магнитные поля, которые в масштабах всей Галактики можно считать неупорядоченными, хаотическими, перемешивают космические лучи. В результате к Земле (или точнее к солнечной системе) космические лучи приходят в равном количестве со всех сторон, т. е. космические лучи изотропны по направлениям (анизотропия потока космических лучей еще надежно не установлена и во всяком случае не превышает долей процента). Изотропия космических лучей приводит, очевидно, к тому, что исследование космических лучей вне земной атмосферы (и даже на периферии солнечной системы) не позволяет получить никаких непосредственных сведений об источниках этих лучей, о том, где эти источники находятся и что собой представляют. Поэтому изучение космических лучей физическими методами (на баллонах, спутниках и ракетах) еще явно недостаточно, хотя и играет очень существенную роль. Конкретно, на таком пути можно узнать: химический состав космических лучей (потоки протонов и различных ядер), количество электронов и позитронов и энергетический спектр всех этих частиц, т. е. зависимость их потока от энергии. Такие сведения, конечно, очень важны.

Оказалось, например, что в космических лучах довольно

---

<sup>1</sup> Здесь мы имеем характерный для естествознания пример того, что значения тех или иных величин сами по себе, безотносительно к другим величинам, не могут считаться большими или малыми. Точно так же земное магнитное поле (доли эрстеда) очень мало по сравнению с сильнейшими, используемыми сейчас в лабораториях, полями, достигающими сотен тысяч эрстед; но это же самое земное поле является большим (сильным полем), когда речь идет об использовании компаса, при распространении над Землей радиоволн с длиной волны большей примерно ста метров и т. д.

много ядер легких элементов лития, бериллия и бора. Суммарный поток ядер этих трех сортов примерно равен потоку всех тяжелых ядер, следующих в периодической таблице элементов за ядрами углерода, азота, кислорода и фтора. В то же время в среднем во Вселенной лития, бериллия и бора вместе взятых в сто тысяч раз меньше, чем тяжелых элементов. Этот интересный факт объясняется следующим образом: на своем пути от источников к Земле космические лучи движутся не в вакууме, а в межзвездной среде и при этом проходят слой газа (преимущественно водорода) с массой в 5–10 граммов на квадратный сантиметр. В результате взаимодействия более тяжелых ядер, входящих в состав космических лучей, с ядрами атомов межзвездной среды и образуются ядра-осколки, в том числе ядра лития, бериллия и бора. Таким образом, химический состав космических лучей отражает историю их путешествий и его изучение действительно доставляет ценную информацию.

Тем не менее исследование космических лучей не составило бы целого направления в современной астрофизике (это направление мы и называем астрофизикой космических лучей), если бы астрономы располагали для изучения этих лучей только физическими методами (имеется в виду регистрация первичных космических лучей вблизи Земли с помощью фотоэмульсий, различных счетчиков и т. п.).

К счастью, и значение этого обстоятельства трудно переоценить, имеется возможность изучать космические лучи, находящиеся не только в отдаленных уголках нашей Галактики, но и далеко за ее пределами и даже за пределами видимости в сильнейшие телескопы. Дело в том, что космическое радиоизлучение, принимаемое с помощью радиотелескопов, в основной своей части создается космическими лучами или, точнее, электронной компонентой космических лучей.

Мы уже говорили о том, что заряженные частицы закручиваются магнитным полем, движутся в этом поле не прямолинейно, а с ускорением. Ускоренное же движение заряда сопровождается излучением электромагнитных волн, причем такое излучение, возникающее при движении частиц в магнитном поле, называется магнитотормозным или синхротронным.

Как оказывается, для электронов с типичной для космических лучей энергией  $E \sim 10^8 + 10^{10}$  электронвольт при их движении в межзвездных магнитных полях с напряженностью поля  $H \sim 10^{-6} \div 10^{-5}$  эрстеда магнитотормозное излучение лежит как раз в основном в диапазоне метровых радиоволн, особенно широко используемых в радиоастрономии. Тем самым радиоастрономия и астрофизика космических лучей оказываются очень тесно связанными между собой.

Поскольку радиоволны метрового диапазона распространяются в космосе практически без помех и прямолинейно, с

их помощью мы можем узнать, сколько электронов с высокой энергией имеется в той или иной оболочке сверхновой звезды, в галактике и т. д. Именно радиоастрономические наблюдения позволили сделать вывод о присутствии космических лучей или по крайней мере их электронной компоненты в самых различных областях Вселенной.

Не нужно думать, что космические лучи дают о себе знать только по излучению, лежащему в радиодиапазоне. Хотя такое радиоизлучение, бесспорно, и занимает первое место по объему и ценности полученной информации, следует подчеркнуть существование и других возможностей.

Так, в некоторых условиях (если магнитное поле достаточно сильно или имеются электроны с очень высокой энергией) магнитотормозное излучение попадает и в оптический и даже в рентгеновский диапазон волн (см. следующий раздел).

Кроме того, космические лучи в результате целого ряда процессов, имеющих место при их взаимодействии с межзвездной средой (газом) и межзвездным оптическим излучением (оно испускается звездами), порождают гамма-лучи. Космические гамма-лучи распространяются, вообще говоря, почти свободно и прямолинейно. Поэтому они, как и радиоволны, могут доставить сведения о генерирующих их космических лучах. Исследование космического гамма-излучения, которое составляет предмет гамма-астрономии, только начинается, но уже сейчас представляется весьма многообещающим.

Комплексный подход, т. е. использование всех доступных методов, столь характерный для естествознания нашего времени, позволил получить богатый материал о космических лучах во Вселенной. И, как это обычно бывает, когда речь идет о подлинно важной и глубокой проблеме, при всем богатстве полученных новых сведений на смену одним задачам все время приходят другие, не менее интересные. Ограничимся указанием, что сейчас в астрофизике космических лучей особенно остро стоят вопросы о космических лучах в межгалактическом пространстве (т. е. между галактиками), о космических лучах в сверхзвездах и радиогалактиках и о роли, которую играют для понимания поведения космических лучей специфические плазменные явления<sup>1</sup>.

## Нейтронные звезды и рентгеновская астрономия

Еще около 30 лет назад был поставлен вопрос о возможности существования нейтронных звезд, состоящих в основном

<sup>1</sup> Межзвездный и межгалактический газ ионизован, т. е. находится в состоянии плазмы; в то же время поведение быстрых заряженных частиц при их движении в плазме обладает рядом особенностей.

из одних нейтронов<sup>1</sup>. Такое предположение возникло в результате анализа хода эволюции звезд.

Как известно, свечение звезд поддерживается за счет энергии, выделяющейся при ядерных реакциях, происходящих в недрах звезды. При сгорании ядерного топлива звезды постепенно сжимаются и превращаются в звезды-карлики, состоящие из плотного ионизованного газа. Однако при дальнейшем остывании звезды, как показывают расчеты, может оказаться энергетически выгодным переход звезды в нейтронное состояние. Это значит, что протоны  $p$  соединяются с электронами  $e^-$  и, испуская нейтрино  $\nu$ , превращаются в нейтроны  $n$  (процесс  $p + e^- \rightarrow n + \nu$ ). В нейтронном состоянии звезда обладает примерно такой же плотностью, как атомные ядра — речь идет о средней плотности, равной примерно  $10^{14} \text{ г/см}^3 =$

$= 100\,000\,000 \frac{\text{тонн}}{\text{см}^3}$ . Поэтому звезда с массой Солнца при переходе в нейтронное состояние имеет радиус, равный всего около 10 километров, в то время как радиус видимой глазом солнечной фотосферы составляет 700 000 километров (средняя плотность Солнца равна примерно плотности воды, т. е.  $1 \text{ г/см}^3$ ). Количество света, испускаемого звездой, очевидно, пропорционально площади ее поверхности, т. е. квадрату ее радиуса.

Если Солнце превратилось бы в нейтронную звезду (это в нашу эпоху заведомо невозможно), то при той же температуре поверхности (фотосферы) оно стало бы излучать в миллиарды раз меньше света. Именно по этой причине долгое время казалось, что наблюдать нейтронные звезды невозможно, если только они каким-то чудом не окажутся расположенными совсем близко от нас. Создалось, таким образом, парадоксальное положение: интереснейшую и очень важную для астрофизики гипотезу было мало надежды проверить.

За последние два-три года стало ясно, однако, что этот вывод неверен. Действительно, при своем образовании нейтронная звезда нагревается и в течение некоторого времени (скажем, сотен лет) вполне может быть значительно горячее, чем солнечная фотосфера, температура которой составляет около 6000 градусов. Но чем тело горячее, тем оно больше излучает — в тепловом равновесии энергия электромагнитного излучения пропорциональна  $T^4$ , где  $T$  — температура поверхности.

Далее, чем тело горячее, тем более коротковолновое излучение оно в основном испускает, так что для максимума в спектре произведение длины волны  $\lambda$  на температуру  $T$  остается постоянным (закон смещения). Легко понять отсюда, что звезда с температурой в 10 миллионов градусов будет в основ-

---

<sup>1</sup> Напомним, что атомные ядра состоят из протонов и нейтронов.

ном излучать уже рентгеновские лучи<sup>1</sup>. Мощность этого излучения так велика, что существующими «рентгеновскими телескопами» можно было бы заметить нейтронную звезду, находящуюся на расстоянии в тысячи световых лет.

Этот вопрос привлек к себе в последнее время внимание астрономов и физиков во многих странах, в первую очередь в связи с тем, что в 1962 и 1963 годах было обнаружено космическое (несолнечное) рентгеновское излучение и установлено, что имеются мощные дискретные (т. е. локализованные на небесной сфере) источники такого излучения.

Наиболее яркий рентгеновский источник (рентгеновская звезда) расположен в созвездии Скорпиона. Из примерно десятка других известных более слабых источников особое внимание привлекает источник, расположенный в созвездии Тельца, где находится также знаменитая Крабовидная туманность — остаток сверхновой звезды, вспыхнувшей в 1054 году. Не являются ли рентгеновские звезды горячими нейтронными звездами? На первый взгляд кажется, что эту гипотезу легко проверить. Так, нейтронные звезды настолько малы, что связанный с ними рентгеновский источник должен казаться точечным при самом высоком угловом разрешении. Кроме того, частотный спектр теплового излучения хорошо известен и поэтому можно, в принципе, выяснить, является источник тепловым или нет (излучение нейтронных звезд должно быть тепловым). Не следует, однако, забывать о слабостях только что родившейся рентгеновской астрономии. Существующие приборы неспособны еще осуществить спектральный анализ, а угловое разрешение является буквально ахиллесовой пятой рентгеновской астрономии.

Оптическая астрономия обеспечивает разрешение, обычно не превосходящее 1 угловой секунды (под таким углом коробка спичек видна с расстояния примерно в 10 километров). В радиоастрономии низкое угловое разрешение долгое время было большим препятствием и лишь недавно, да и то в исключительных случаях получено разрешение, достигающее до долей угловой секунды. В то же время угловое разрешение использованных «рентгеновских телескопов» вначале составляло несколько градусов, а сейчас не превосходит угловой минуты. В этой связи не может быть и речи о непосредственном определении угловых размеров рентгеновских источников, если эти размеры заметно меньше угловой минуты.

Одновременно очень затруднено отождествление рентге-

---

<sup>1</sup> Максимум в спектре Солнца приходится на волну  $\lambda = 5000$  ангстрем. Поэтому при  $T = 10^7$  градусов максимуму в спектре будет отвечать волна  $\lambda = \frac{5000 \cdot 6000}{10} = 3$  ангстрема (напомним, что ангстрем равен стомиллионной части сантиметра).

новских источников с видимыми объектами. Так, сразу же после открытия упомянутого рентгеновского источника в Тельце казалось весьма вероятным, что он совпадает с Крабовидной туманностью. Но угловой размер этой туманности равен примерно 5 минутам, а точность локализации источника в первых опытах не превосходила нескольких градусов, т. е. была в десятки раз меньше необходимой (для отождествления рентгеновского источника с Крабовидной туманностью). Еще в большей мере оставался неясным вопрос о природе источника — он мог оказаться нейтронной звездой, расположенной в Крабовидной туманности, но мог быть и протяженным источником, связанным с той же туманностью. Решить эту животрепещущую проблему помогла Луна!

7 июля 1964 года Крабовидная туманность покрывалась Луной (т. е. закрывалась для земного наблюдателя лунным диском). В это время американским физикам удалось послать ракету с рентгеновскими счетчиками и оказалось, что сигнал от рентгеновского источника начинает ослабевать именно при покрытии Крабовидной туманности. Главное же, сила приема (число регистрируемых в единицу времени рентгеновских фотонов) по мере покрытия уменьшается не резко, а постепенно. Последнее со всей определенностью указывает на то, что рентгеновский источник в Крабовидной туманности не связан с нейтронной звездой (такая звезда, в силу ее ничтожных угловых размеров, покрывалась бы сразу, т. е. сила приема резко падала бы до нуля)<sup>1</sup>.

По всей вероятности, рентгеновское излучение Крабовидной туманности подобно радио и большей части оптического излучения этой туманности имеет магнеторозную природу. Оно возникает при ускорении быстрых электронов, происходящем при их движении в магнитном поле. Окончательно доказать это предположение можно будет только в результате более подробного исследования, в частности, определения спектра излучения или выявления его поляризации. Но каков бы тут ни был ответ, обнаружение рентгеновского излучения от оболочки сверхновой звезды имеет громадное значение.

Несмотря на то, что рентгеновский источник в Крабовидной туманности оказался не нейтронной звездой, еще никак нельзя также считать дискредитированной саму идею о возможности

---

<sup>1</sup> К большому сожалению, метод лунных покрытий весьма ограничен. Во-первых, Луна может покрывать лишь часть небосвода (речь идет о проведении наблюдений вблизи Земли) и, во-вторых, даже когда покрытие возможно, оно может происходить очень редко. Например, Крабовидная туманность следующий раз будет покрыта в 1972 году. К тому времени, вероятно, рентгеновские телескопы будут существенно усовершенствованы и, кроме того, можно будет вести рентгеновские наблюдения с помощью далеких ракет, которые позволят создавать лунные покрытия источников по нашему усмотрению (для любого источника, очевидно, имеется область пространства, где этот источник закрыт Луной).

наблюдения нейтронных звезд по их рентгеновскому излучению. Правда, как сейчас выясняется, нейтронные звезды, возможно, переходят в особое, сверхтекучее состояние, что приводит к более быстрому их остыванию. Имеются и другие основания считать весьма кратковременной горячую фазу существования нейтронных звезд. Поэтому, быть может, далекую нейтронную звезду удастся наблюдать даже в рентгеновской области лишь только в течение нескольких лет, месяцев или даже дней после ее образования.

Мы не знаем также частоты появления нейтронных звезд в Галактике. Отсюда следует лишь, что в возможности наблюдать нейтронные звезды в близком будущем нет полной уверенности. Но разве научные исследования проводятся только тогда, когда результат известен или нет сомнений в удаче поисков? Как известно, это далеко не так и, конкретно, попытка найти нейтронные звезды безусловно является одной из самых привлекательных задач рентгеновской астрономии.

## Какие фундаментальные проблемы стоят перед современной астрофизикой?

Совершенно естественно, что перед астрономией, имеющей объектом изучения всю Вселенную, стоит огромное количество различных задач. Ни об одной такой задаче, если она правильно поставлена, нельзя сказать, что она не важна или не интересна. Разве не представляет интереса, например, строение и происхождение микрометеоров, вес которых составляет ничтожную долю грамма? Луна, планеты, кометы, Солнце, звезды, межзвездная среда, галактики, космические лучи—все эти объекты, заполняющие космос, еще далеко не полно изучены и заслуживают всестороннего внимания.

Но отсюда никак не следует, что все проблемы имеют одинаковое значение и нет каких-то узловых, фундаментальных проблем. Другое дело, что выделение таких проблем может оказаться дискуссионным или просто отражающим субъективные взгляды того или иного автора. Предупредив об этом, попытаемся тем не менее указать на фундаментальные проблемы, которые стоят перед современной астрофизикой. Критерий отбора при этом таков: фундаментальная проблема должна быть не только интересной и важной, но и иметь глубокое значение для астрономии в целом, ее решение должно давать ответ на подлинную тайну природы.

К числу таких фундаментальных проблем относятся:

1. Космологическая проблема — вопрос о строении и эволюции Вселенной как целого.
2. Вопрос о природе и механизме образования радиогалак-

тик, сверхзвезд и галактических ядер. Возможно, что с этой проблемой тесно связан также очень важный вопрос о природе и механизме взрыва сверхновых звезд и проблема существования и обнаружения нейтронных звезд и вообще звезд нового типа.

3. Проблема существования внеземных цивилизаций и установления связи с ними.

Для сравнения заметим, что в современной физике к числу подобных фундаментальных проблем мы отнесли бы только проблему элементарных частиц, т. е. вопрос о строении и взаимосвязи между такими частицами, как протон, нейтрон, электрон, гипероны, мезоны, нейтрино и т. д.

Вопрос о существовании внеземных цивилизаций, как это общеизвестно, имеет многовековую историю. Но отдавая должное смелости идей Джордано Бруно и храня память о его замечательном мужестве и трагическом конце, мы не можем не подчеркнуть, что вплоть до самого последнего времени проблема внеземных цивилизаций носила умозрительный характер.

Буквально лишь несколько лет назад этот вопрос начал становиться на реальную почву, причем как раз в связи с развитием радиоастрономии. Несомненно, эта проблема может иметь огромное общечеловеческое значение (достаточно подумать о возможности получения информации от более развитого общества, обитающего вблизи какой-либо звезды). Вместе с тем вопрос о внеземных цивилизациях стоит несколько особняком и само его отнесение к астрономии носит условный характер.

То же можно в известном смысле сказать и о такой грандиозной задаче, как изучение Луны и планет с помощью ракет. Разумеется, астрономический элемент здесь очень существен и ответ в первую очередь будет получен на астрономические вопросы, такие, например, как вопрос о строении лунной поверхности. Несомненно, однако, что центр тяжести обеих упомянутых проблем лежит не в сфере основных интересов современной астрофизики, а в других областях.

Напротив, первые две фундаментальные проблемы, которые были упомянуты выше, видимо, тесно связаны между собой и ставят нас перед самыми глубокими и сложными вопросами астрономии. Попытаемся пояснить это утверждение.

Развитие естествознания происходит, по сути дела, лишь ничтожно малое время по сравнению с возрастом современного человека — «Человека разумного» (*Homo sapiens*). Вполне естественно далее, что процесс познания окружающего мира начинается с попыток понять и объяснить простейшие и наиболее близкие нам явления, с которыми мы непосредственно сталкиваемся на практике. Правда, звезды на небе привлекали внимание, несомненно, с самых древних времен. Но ни о каком

изучении звезд в период до Галилея не было и речи — достаточно вспомнить, что даже Коперник считал звезды расположенными на некоей небесной сфере, замыкающей Вселенную.

Итак, представляется в достаточной мере понятным, почему современная физика начала развиваться с механики, изучающей простейшие виды движения, а лишь затем начался прогресс в области оптики, электричества, молекулярной физики и т. д. Столь же понятно и естественно, что при переходе к все новым явлениям на первых порах пытались применять понятия и образы, заимствованные из классической механики и вообще из тех областей физики, которые тесно соприкасаются с нашей повседневной практикой.

Только в XX веке в физике произошла революция, содержание которой теснейшим образом связано с пониманием простой истины: законы природы, позволяющие с достаточной точностью рассмотреть и предсказать движение или поведение планет и машин, проекторов и трансформаторов и т. д., становятся уже совершенно недостаточными или просто неверными, когда речь заходит об атомах и атомных ядрах или движении частиц со скоростями, близкими к скорости света.

Теория относительности и квантовая теория, эти два величайших научных достижения XX века, как раз и вооружили нас знанием законов движения при больших скоростях и в ничтожно малых областях (масштабах). Что это за скорости и масштабы? Скорость света равна  $300\,000\text{ км/сек} = 3 \cdot 10^{10}\text{ см/сек}$ , т. е. в 10 000 раз больше скорости движения Земли по орбите и примерно в 40 000 раз больше скорости движения близкого искусственного спутника относительно Земли. Расстояние от Земли до Солнца равно  $1,5 \cdot 10^8\text{ км}$ , радиус Земли составляет около 6400 километров, высота построек достигает сотен метров, а размер атомов равен всего стомиллионной доле сантиметра ( $10^{-8}\text{ см}$ ).

Таким образом, речь идет действительно о гигантском различии в масштабах. И нужно ли удивляться тому, что электроны в атомах, размер которых так мал, что их нельзя не только увидеть, но даже трудно себе реально представить, управляются не теми же законами, по которым движется турбина? Если мир атомов, а в большой мере и атомных ядер, теперь уже в значительной степени познан, то этого никак нельзя сказать об еще более мелкомасштабных объектах и явлениях, относящихся к области физики элементарных частиц. Здесь сейчас обсуждаются процессы, которые характеризуются длиной порядка  $10^{-14} — 10^{16}\text{ см}$ , т. е. длинами еще в миллионы и десятки миллионов меньшими, чем размеры атомов.

Сейчас еще не существует теории явлений в этой области, хотя над ее созданием уже около трех десятилетий работает все возрастающая армия физиков-экспериментаторов и физиков-теоретиков. Согласно широко распространенному мнению,

которое мы вполне разделяем, создание теории элементарных частиц будет связано с глубокими новыми идеями и, возможно, с изменением существующих представлений о пространстве и времени в микромасштабах. Шаг, который нужно сделать для создания такой теории, по своему значению, по-видимому, вполне сравним с переходом от классической физики к теории относительности и квантовой механике.

Какое, однако, отношение имеют все эти хорошо известные рассуждения к нашей теме? Мы видим здесь прямую аналогию. Современные радио и оптические телескопы заглянули во Вселенную на расстояние порядка  $5 \cdot 10^{22}$  км, что в  $3 \cdot 10^{14}$  раз (триста тысяч миллиардов) больше расстояния от Земли до Солнца!

Всякая аналогия, конечно, имеет ограниченное значение, но сказанное позволяет, на наш взгляд, сделать такой вывод: для понимания космологических вопросов, по всей вероятности, нужны новые глубокие идеи, помимо тех, которые известны в обычной физике. Более того, нет никакой гарантии в том, что известные нам физические законы, относящиеся и к области классической и к области квантовой физики, могут быть безоговорочно и беспредельно использованы в космологии.

Чтобы проиллюстрировать это замечание, приведем один пример. В так называемой стационарной космологии, о которой еще будет упомянуто ниже, принимается, что во Вселенной непрерывно происходит образование нового вещества в известных нам формах, скажем, образование водорода. Для соблюдения стационарности, в чем и состоит радикальнейшее отличие этой космологической схемы от эволюционной космологии, достаточно появление одного нового атома в год в кубе с ребром около 1 километра. Если вспомнить, что в таком кубе при атмосферном давлении находилось бы  $2,7 \cdot 10^{34}$  молекул воздуха, то станет совершенно очевидной невозможность отвергнуть стационарную космологическую модель на основе лабораторных измерений и основанной на них физики. То, что такая модель, противоречащая общепринятым в настоящее время физическим представлениям, многим, в том числе автору настоящей брошюры, крайне не нравится, еще не может в данном случае служить решающим аргументом. Таким аргументом могут явиться только результаты астрономических наблюдений.

Итак, один из разделов астрономии и астрофизики — космология несомненно принадлежит к числу тех очень немногих научных направлений (другим таким направлением является физика элементарных частиц), где мы сталкиваемся с глубочайшими принципиальными вопросами. Здесь проходит граница между светом знания и абсолютной темнотой неведомого.

Сделанные замечания ни в какой мере не должны восприниматься как указание на какую-то неполноценность физиче-

ских методов в астрономии. Напротив, необходимость использования всей мощи современной физики в астрономии, чем астрофизика и занимается, является бесспорным вопросом и могла бы быть поставлена под сомнение только научными обскурантами. К счастью, в астрономии, в отличие от нашей многоотрадальной биологии, таких обскурантов, насколько известно, у нас нет.

Другими словами, самая широкая применимость законов физики при изучении планет, звезд и галактик не вызывает никаких сомнений, а мы выше хотели лишь подчеркнуть существование условий или круга астрономических проблем, при исследовании которых нужно помнить о возможной, в принципе, ограниченности известных сейчас законов физики.

Космологическая проблема ни в коей мере не является новой и она стала серьезно обсуждаться по крайней мере в прошлом веке.

Но дело на первых порах ограничилось формулировкой нескольких парадоксов, которые заострили внимание, поставили вопрос, но еще не дали на него никакого ответа. Современный этап в развитии космологии был открыт в 1917 году работой великого создателя теории относительности Эйнштейна и работами А. А. Фридмана, выполненными в нашей стране в начале двадцатых годов на основе общей теории относительности. Любопытно, что, как выяснилось только спустя 10—15 лет, основной вывод Фридмана может быть получен и в рамках ньютоновской теории тяготения. Но это требовало внесения дополнительных идей, которые оказались в известном смысле автоматически заключенными в общей теории относительности.

Вывод Фридмана, который мы имели в виду, состоит не более не менее как в утверждении, что Вселенная нестационарна и может расширяться. Между тем все предшествующие космологические гипотезы исходили из априорного представления об отсутствии расширения и о стационарности Вселенной, т. е. неизменности во времени средних характеристик Вселенной, таких, как средняя плотность вещества и т. п.

Недопустимость подобных априорных положений в естествознании достаточно хорошо известна и развитие космологии является блестящим тому примером. Дело в том, что в конце двадцатых годов, а в дальнейшем со все большей убедительностью, астрономические наблюдения действительно привели к заключению о расширении Вселенной. Чем дальше от нас находится какая-либо галактика, тем с большей скоростью она удаляется, что приводит, в силу хорошо известного физического явления — эффекта Допплера, к смещению спектральных линий в спектре галактики в красную сторону.

Правда, делались попытки объяснить наблюдаемое красное смещение в спектрах не разбеганием галактик, а какими-

то другими причинами. Но все эти попытки, никогда не имевшие серьезных оснований, были отвергнуты одна за другой, а факт разбегания, напротив, подтверждается все новыми измерениями.

Разбегание галактик, расширение Вселенной есть явление столь неожиданное и грандиозное, что его значение выходит за рамки физики и астрономии. В факте расширения Вселенной пытались, видимо, даже найти какие-то косвенные подкрепления библейской легенды о сотворении мира, и, во всяком случае, вопрос о расширении Вселенной и красном смещении был затронут в одной из энциклик папы Пия XII.

Представляется очевидным, однако, что никакой факт, касающийся строения Вселенной (как, впрочем, и любой факт), неспособен подкрепить веру в бога, символом которой может служить известное изречение одного из отцов церкви — «верю, ибо нелепо».

Иррациональность религии сама по себе уже позволяет не удивляться всей необоснованности попыток установить связь между библейскими легендами и разбеганием галактик, о существовании которых авторы библии не имели, конечно, ни малейшего представления.

Напротив, нельзя было не удивляться, когда некоторые философы утверждали, что расширение Вселенной, ее нестационарность противоречат материализму. Между тем подлинно материалистическая позиция состоит в признании существования Вселенной вне всякой зависимости от человеческого сознания и до появления этого сознания, а не в совершенно антинаучном предписывании природе ее законов, в данном случае законов движения галактик и всей исследованной части Вселенной.

На первый взгляд может показаться, что расширение Вселенной неразрывно связано с представлением об ее нестационарности и, конкретно, уменьшением со временем средней плотности вещества во Вселенной. Действительно, в эволюционных космологических моделях, изучение которых начато работами Фридмана, средняя плотность вещества меняется со временем.

Существует тем не менее альтернативная стационарная космологическая модель, в которой, несмотря на расширение, плотность вещества сохраняется неизменной за счет рождения нового вещества в известных его формах. Такое рождение несомненно противоречит принятым сейчас физическим законам, но, как мы уже указывали, этот аргумент в данном случае недостаточен, ибо появление нового вещества можно было бы надеяться отнести за счет недостаточной точности известных законов, за счет существования каких-то новых частиц и т. п.

Имеется, повторим это еще раз, только один решающий

путь проверки правильности тех или иных космологических (да и вообще естественнонаучных) утверждений — сравнение теории с опытом или наблюдениями. В данном случае такая проверка, в принципе, не составляет труда.

Так, в рамках эволюционной космологии количество галактик и, в частности, радиогалактик в каком-либо заданном большом объеме пространства должно изменяться со временем или, что то же, с расстоянием от Земли<sup>1</sup>. В стационарной же космологии среднее количество галактик от расстояния меняться не должно. С развитием радиоастрономии появилась возможность провести подобную проверку по числу радиогалактик в зависимости от их расстояния до нас. Вместе с тем, как читатели, вероятно, легко поверят и без пояснений, решение такой задачи практически исключительно трудно. Несмотря на это, некоторые результаты здесь уже получены и все они свидетельствуют (как и некоторые оптические данные) против стационарной космологии и в пользу эволюционной космологии. В самое ближайшее время, с вступлением в строй новых мощных радиотелескопов, эта важнейшая задача, как можно думать, будет окончательно решена.

Но этим, однако, еще ни в какой мере не будет полностью решена космологическая проблема.

Как эволюционировала Вселенная в прошлом, как она будет развиваться в дальнейшем, как образовались, образуются и развиваются галактики? Все эти вопросы ждут своего исследования. Именно в последнем пункте, в вопросе об образовании, строении и эволюции галактик космология смыкается со второй из упомянутых выше фундаментальных проблем современной астрофизики.

Радиогалактики, сверхзвезды и сверхновые звезды потому-то и привлекают к себе столь пристальное внимание, что в этих случаях мы имеем дело со взрывом, быстрым изменением, образованием новых форм.

Не имея возможности развивать эту тему, сформулируем лишь главную, на наш взгляд, возникающую здесь дилемму. Наиболее распространена точка зрения, которую в числе других развивал и разделяет автор брошюры, что образование радиогалактик, сверхзвезд, а, видимо, и сверхновых звезд связано с сжатием газа и последующим взрывом, обусловленным выделением большой гравитационной энергии при сжатии. Поскольку сжатие газа иногда может принимать катастрофический характер, сейчас для описания этого сжатия часто применяется термин коллапс, который мы и используем.

Итак, одна возможность состоит в какой-то форме грави-

---

<sup>1</sup> Когда мы наблюдаем галактику, находящуюся от нас, скажем, на расстоянии в миллиард световых лет, то это означает, что принимаемый свет был испущен этой галактикой миллиард лет назад.

тационного коллапса, сопровождающегося взрывом. Другая точка зрения, которую довольно давно высказал и развивает В. А. Амбарцумян, сводится к гипотезе о существовании во Вселенной каких-то, видимо, сверхплотных тел (прототел), которые время от времени взрываются, выбрасывая газ. Здесь, таким образом, нет коллапса, а скорее можно говорить об антиколлапсе.

Гипотеза о существовании сверхплотных прототел, быть может сохраняющихся миллиарды лет, не подкреплена сколько-нибудь прямыми данными и еще ни в какой мере не является обязательной. Но положение в астрофизике гораздо лучше характеризует другое утверждение — гипотеза о существовании прототел не может быть решительно отвергнута на основе имеющихся данных. Это значит, что астрофизике предстоит пройти, вероятно, длинный и несомненно очень трудный путь прежде, чем будет окончательно выяснена природа процессов, приводящих к образованию сверхзвезд и радиогалактик, а также к другим явлениям, наблюдаемым в центральных, наиболее плотных областях галактик, — в так называемых галактических ядрах.

Проблема сверхновых звезд и нейтронных звезд, быть может, тесно связана с вопросом о природе сверхзвезд и галактических ядер. Мы имеем возможность отметить здесь лишь одно обстоятельство, представляющееся весьма вероятным после обнаружения рентгеновского излучения Крабовидной туманности. Именно при взрыве сверхновой звезды от нее, видимо, что-то остается помимо выброшенной и расширяющейся газовой оболочки. И вот это что-то, по-видимому, является мощным источником космических лучей или во всяком случае их электронной компоненты. Что же остается от взорвавшейся звезды помимо оболочки? Быть может, это какая-то сверхплотная звезда, в частности, нейтронная звезда, окруженная магнитным полем и вращающаяся вокруг своей оси? Да, возможна и такая гипотеза, но доподлинно ничего на этот счет еще не известно.

## Развитие астрофизики и организация науки

Основные выводы, которые ясны из сказанного, таковы:

Астрофизика и астрономия в целом за последнее время обогатились целым рядом принципиально новых и мощных методов исследования. Это привело к радикальному расширению фронта работы, к качественному изменению ситуации.

Те изменения в астрономии, которые мы считаем революционными и пытались охарактеризовать выше, привели вместе с тем к определенным важным следствиям также в сфере, свя-

занной с организацией и планированием науки, подготовкой научных кадров и т. п.

1. Астрономия, не говоря уже об астрофизике, всегда была тесно связана с физикой. Однако в период, хотя и быстрого, но, так сказать, мирного развития, в период монополии оптических методов обычно можно было с определенностью сказать кто физик, а кто астроном.

Конкретно, астрономией еще лет 20—30 назад, как правило, занимались только люди, получившие астрономическое образование и с самого начала своей деятельности посвятившие себя астрономии. Но совершенно естественно, что в период становления совершенно новых методов положение изменилось.

Астрономам-оптикам была, например, чужда радиоастрономическая методика и в эту область астрономии пришли физики, радиофизики и радиоинженеры. Большинство других новых методов в астрономии также естественным образом развивается в первую очередь физиками и инженерами по образованию и опыту своей предшествующей работы. Кстати сказать, и автор настоящей брошюры не только является физиком по образованию, но работал и продолжает работать в области физики наряду с астрономией.

Если же касаться второстепенных моментов и возможных осложнений, связанных со сложностью человеческих отношений, изменение состава и профиля людей, занимающихся сегодня астрономией (а их и нужно, очевидно, называть астрономами), не таит в себе каких-либо противоречий и оказывается плодотворным.

В этой связи мы хотели бы тем не менее подчеркнуть два момента.

Практика, во-первых, со всей определенностью свидетельствует о том, что «новые люди» в астрономии успешно работают только тогда, когда они действуют в тесном контакте с астрономами по образованию, а не начинают «открывать Америку», игнорируя весь богатый опыт и знания астрономов. Отсюда ясна задача проводить все исследования новыми методами в едином строю и в едином русле современной астрономии.

Второй важный вопрос связан с подготовкой молодых астрономов, которая требует изменения программ обучения на астрономических отделениях университетов и одновременно подготовки астрономов или по крайней мере чтения ряда астрономических курсов на радиофизических и физических факультетах.

2. Использование новых методов в астрономии, как правило, требует больших затрат. Разумеется, большие оптические телескопы не менее дороги, но они создавались десятилетиями, а эксплуатируются в течение еще более длительного времени.

Что же касается радиотелескопов, то они быстрее создаются и довольно быстро устаревают.

Если в конце второй мировой войны радиоастрономия была вооружена лишь аппаратурой, переделанной из старых радиодокторов, то теперь уже в большом числе существуют и строятся гигантские радиотелескопы с эффективным диаметром, достигающим сотен метров, и стоимостью в десятки миллионов рублей. Вся астрономия, базирующаяся на спутниках и ракетах, также не может быть дешевой уже в связи с дороговизной самих носителей. Нейтринная астрономия может развиваться лишь глубоко под землей, что само по себе требует немалых затрат и т. д.

Не нужно, конечно, думать, что при отсутствии больших материальных возможностей астрофизика вообще не может продвигаться вперед. Во-первых, имеется немало задач, требующих лишь сравнительно скромных затрат. Во-вторых, в современной науке в общем налажено международное сотрудничество. Научные результаты, полученные в той или иной стране на уникальных инструментах, становятся в конце концов общим достоянием. В-третьих, огромную роль играет теоретическая астрофизика, представители которой, если не говорить об использовании счетных машин, не нуждаются в оборудовании. Но все же в целом и конкретно для такой страны, как СССР, где масштаб научной работы огромен, гармоничное развитие астрономии без строительства больших и дорогих приборов совершенно невозможно.

3. Когда речь идет о новых путях и проверке новых идей и методов, добиться успеха даже при наличии кадров и денег можно только при правильной организации и рациональном планировании работы. Если проектирование и постройку, скажем, новых больших радиотелескопов затягивать на многие годы, вместо того чтобы быстро и смело решать все организационные и финансовые вопросы, то в современном международном научном соревновании победить нельзя.

Кроме того, нужно помнить, что на первых порах ту или иную задачу можно в ряде случаев решить сравнительно скромными средствами, а для того чтобы сделать следующие шаги, нужны уже обычно во много раз большие материальные затраты. Поэтому быстрота при решении научно-организационных проблем в значительной мере эквивалентна экономии огромных средств.

Здесь было бы неуместно останавливаться на конкретных вопросах организации науки и ее финансирования. Но автор не вправе не высказать здесь своего глубокого убеждения в том, что в области астрономии, в области тех проблем и направлений, о которых шла речь выше, задача рациональной организации, планирования и финансирования научных исследований далеко не всегда решается должным образом.

4. Развитие науки может быть существенно заторможено, если не руководствоваться передовой диалектической методологией и попасть в плен схоластики и метафизики. Яркой иллюстрацией того, что мы имеем в виду, может служить предстория той революции в астрономии, которую заслуженно связывают с именем Галилея и о которой уже шла речь в начале брошюры.

Телескопы Галилея состояли всего-навсего из двух очковых стекол (линз), вставленных в трубку. Очки же стали применяться за несколько столетий до этого, да и телескоп был изобретен до Галилея. Поэтому на первый взгляд вызывает удивление, что никто до него не посмотрел на небо вооруженным глазом.

Ответ на этот вопрос является несколько неожиданным: изучению Вселенной с помощью телескопа препятствовали в первую очередь предрассудки или, если угодно, неверная философская позиция. В самом деле о линзах было высказано такое мнение: «Основная цель зрения — знать правду, линзы же для очков дают возможность видеть предметы большими или меньшими, чем они есть в действительности; через линзы можно увидеть предметы ближе или дальше, иной раз, кроме того, перевернутыми, деформированными и ошибочными; следовательно, линзы не дают возможности видеть действительность. Поэтому, если вы не хотите быть введенными в заблуждение, не пользуйтесь линзами».

Правда, Галилей не просто применил телескоп, он его существенно усовершенствовал, главным образом, в результате отбора хороших линз, позволяющих работать со сравнительно большим, например, тридцатикратным увеличением (достаточно сказать, что Галилей построил около 100 телескопов, а использовал только 7).

Однако еще более важно было именно то, что Галилей поверил линзам — поверил в достоверность знаний, которые можно получить с помощью телескопа. Насколько такой шаг был революционным, видно, например, и из того, что большинство современников Галилея просто игнорировали его открытия, считали их плодом воображения, отказывались пользоваться даже самыми совершенными его телескопами. Так, в письме Кеплеру Галилей писал: «Посмеемся, мой Кеплер, великой глупости людей. Что сказать о первых здешних философах, которые с каким-то упорством аспид, несмотря на тысячекратное приглашение, не желали даже и взглянуть ни на планеты, ни на Луну, ни на телескоп».

Только ценой огромных усилий Галилею и его последователям удалось сломить отчаянное сопротивление схоластов и открыть шлюзы для научного прогресса.

Неверно, к сожалению, было бы думать, что сейчас, через 350 лет после Галилея, схоластика и метафизика окончательно

но побеждены. Достаточно напомнить об имевшем место еще недавно априорном отрицании законов Менделя и всей хромосомной теории наследственности, чтобы убедиться в живучести лженауки, которую пытались прикрывать философскими «аргументами».

О том же свидетельствуют и довольно многочисленные попытки объявить идеалистическими теорию относительности и квантовую механику, а также релятивистскую космологию. Сюда же, по сути дела, примыкает широко распространенное непонимание роли и места фундаментальных научных исследований, не связанных непосредственно с техникой и народным хозяйством.

Ошибки прошлого, однако, многому научили, и встречающиеся сейчас на пути развития астрономии трудности можно считать второстепенными — они не изменяют общей картины. Возможности астрономии умножились и в то же время перед ней стоят, причем в совершенно реальном плане, грандиозные задачи, решение которых потребует, вероятно, десятилетий напряженного труда (мы уже не говорим о том, что на смену тем проблемам, которые возникли или ясны сегодня, придут новые задачи).

Несомненно, еще до конца XX века, а возможно в ближайшие годы будет сделано много интереснейших астрономических открытий.

---

## Содержание

	<i>Стр.</i>
Что наиболее характерно для астрофизики середины нашего века? . . . . .	3
Новые результаты астрофизических исследований . .	9
Астрофизика космических лучей . . . . .	11
Нейтронные звезды и рентгеновская астрономия . . .	14
Какие фундаментальные проблемы стоят перед совре- менной астрофизикой? . . . . .	18
Развитие астрофизики и организация науки . . . .	25

**ВИТАЛИЙ ЛАЗАРЕВИЧ ГИНЗБУРГ**

Редактор *И. Б. Файнбойм*  
Худож. редактор *Е. Е. Соколов*  
Техн. редактор *М. Т. Перегудова*  
Корректор *С. А. Боровская*  
Обложка *А. Т. Ординарцева*

---

Сдано в набор 28.VI 1965 г. Подписано к печати 21.VII 1965 г. Изд. № 75  
Формат бум. 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бум. л. 1,0. Печ. л. 2,0. Уч.-изд. л. 1,70.  
А 01282. Цена 6 коп. Тираж 48500 экз. Заказ 2203.  
Издательство «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.

---

Типография изд-ва «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.

**Всем, кто интересуется новейшими достижениями науки и культуры, рекомендуем подписаться на серии научно-популярных брошюр издательства «Знание»**

## **«НОВОЕ В ЖИЗНИ, НАУКЕ, ТЕХНИКЕ**

**12 серий этого цикла —**

<b>История</b>	<b>Международная</b>
<b>Философия</b>	<b>Биология и медицина</b>
<b>Экономика</b>	<b>Физика, математика, астрономия</b>
<b>Техника</b>	<b>Молодежная</b>
<b>Сельское хозяйство</b>	<b>Химия</b>
<b>Литература и искусство</b>	<b>Естествознание и религия —</b>

популярно и увлекательно рассказывают о самом новом и самом интересном в важнейших областях знаний. На страницах этих брошюр выступают известные советские ученые — академики А. И. Алиханов, Л. А. Арцимович, Я. Б. Зельдович, М. Д. Миллионщиков, А. Н. Фрумкин и другие; первая в мире женщина-космонавт В. В. Терешкова, легендарный партизан С. А. Ковпак, Герой Советского Союза Э. Т. Кренкель, журналисты, писатели, общественные и политические деятели.

По сериям «История», «Философия», «Экономика», «Техника», «Сельское хозяйство», «Литература и искусство», «Международная», «Биология и медицина», «Физика, математика, астрономия», «Молодежная» выходит 2 брошюры в месяц объемом 2,5 печ. листа.

**Подписная цена:**

На квартал	— 45 коп.
На месяц	— 15 коп.

По сериям «Химия», «Естествознание и религия» выходит 1 брошюра в месяц объемом 3 печ. листа.

**Подписная цена:**

На квартал	— 27 коп.
------------	-----------

В каталоге «Союзпечати» на 1965 год эти брошюры помещены под индексом 70064—70075.

**6 коп.**

**Индекс  
70072**

**ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»  
Москва 1965**