

О НЕКОТОРЫХ ТЕНДЕНЦИЯХ В РАЗВИТИИ СОВРЕМЕННОЙ АСТРОФИЗИКИ

Введение

В годы моего обучения в Ленинградском университете (1925—1928) я уделял главное внимание астрономическим и математическим предметам. Я всегда сознавал необходимость лучшего знания физики. Однако в то время занятия этой дисциплиной не очень привлекали меня. Правда, на двух последних курсах университета логическая стройность квантовой механики, а также некоторых глав статистической физики произвела на меня глубокое впечатление. Все же и теперь я чувствую, что мои познания по физике неполны и недостаточны для астрофизика-теоретика.

Может быть, благодаря этому обстоятельству, а также недостатку физической интуиции, я стремился в течение 50 лет моей научной работы сосредоточить ее в таких направлениях, где последовательная логика имеет более важное значение, чем физическое понимание. В то же самое время я потратил много времени на изучение данных, получаемых наблюдателями.

Современная астрофизика имеет дело с удивительным богатством и разнообразием наблюдательных данных, со многими типами космических тел и систем. Последние часто различаются по масштабам и основным свойствам. Вместе с тем изучающий сталкивается с разнообразными путями научных исследований и с различными формами мышления.

Тем не менее, случилось так, что мои личные усилия в науке оказались почти целиком посвящены трем основным направлениям теоретической работы.

1. Принципы инвариантности в применении к теории лучистого переноса.

2. Обратные задачи в астрофизике.

3. Эмпирический подход к проблемам происхождения и эволюции звезд и галактик.

На следующих страницах я даю краткий обзор результатов, полученных в каждом из этих трех направлений.

1. Принципы инвариантности и теория лучистого переноса

Проблема рассеяния и поглощения света в плоскопараллельных слоях некоторой среды была рассмотрена в классических работах Шварцшильда, Шустера, Милна и Чандрасекара. По существу их метод был связан с рассмотрением баланса лучистой энергии во всех элементарных объемах внутри среды. В результате в каждом случае проблема может быть сведена к некоторому интегральному уравнению с ядром $E_i(|\tau-t|)$, где E_i есть интегральный логарифм

$$E_i(y) = \int_1^{\infty} e^{-yt} \frac{dt}{t}.$$

Случай изотропного и монохроматического рассеяния сравнительно прост. Но общая задача анизотропного рассеяния с некоторым перераспределением частот (это важно для теории линий поглощения) связана со многими сложностями и трудностями.

Сначала, еще будучи студентом университета, я пробовал внести вклад в эту область. Моя дипломная работа была посвящена интегральным уравнениям лучистого равновесия. Однако первые существенные результаты были достигнуты только в 1932—1933 годах, когда я разработал успешный метод расчета Лаймановского континуума и поля излучения L_{α} применительно к лучистому равновесию в планетарных туманностях. До второй мировой войны я нашел также простой путь решения проблемы монохроматического рассеяния в глубоких слоях вещества (например, в глубоких слоях моря) с произвольным показателем рассеяния. Но все это было сделано в рамках классических методов. Только в 1941 году я нашел, что существуют другие возможности.

Предположим, что мы имеем среду, состоящую из плоскопараллельных слоев, которая занимает полупространство $z < 0$ с границей $z = 0$. Параллельный пучок света с плотностью потока πS , падающий на эту границу под углом $\arcs \cos \eta$ к нормали, будет проникать в среду и претерпевать там бесчисленное количество актов рассеяния и поглощения. В результате некоторая часть вошедшего пучка будет отражена обратно в полупространство $z = 0$ в различных направлениях. Это явление называется «диффузным отражением» света от среды. Интенсивность света $I(\xi)$, диффузно отраженная под углом $\arcs \cos \xi$, будет зависеть от η и ξ

$$I(\xi) = S r(\eta, \xi).$$

Согласно классическим методам, для того чтобы найти функцию $r(\eta, \xi)$, нужно решить вышеупомянутое интегральное уравнение для различных значений параметра η , чтобы найти поле излучения для каждого η , как функцию от глубины. Однако мы используем затем только интенсивности в $z = 0$, которые определяют $r(\eta, \xi)$.

Для того, чтобы избежать расчетов, которые описывают поле излучения в слоях $z < 0$, я решил попробовать сделать следующее предположение. Очевидно, что функция $r(\eta, \xi)$ не изменится, если добавить к границе $z = 0$ дополнительный слой толщины Δz , которая обладает теми же оптическими свойствами, что и первоначальная среда.

Это значит, что различные дополнительные явления рассеяния и поглощения будут в этом случае в точности компенсировать друг друга. Написав условие компенсации, можно получить уравнение для $r(\eta, \xi)$. Решающим было понимание того факта, что ни одна величина, непосредственно относящаяся к внутренним слоям, не входит в это уравнение. Уравнение содержит только неизвестную функцию $r(\eta, \xi)$. То же самое уравнение, полученное этим путем, после было найдено также из самого интегрального уравнения лучистого равновесия.

Условие, что $r(\eta, \xi)$ должна оставаться неизменной с добавлением дополнительного слоя к границе, называется *принципом инвариантности*.

В простейшем случае монохроматического и изотропного элементарного процесса, согласно этому принципу, мы находим, что $\gamma(\eta, \xi)$, как функция двух переменных, должна иметь следующий вид:

$$\gamma(\eta, \xi) = \frac{\lambda}{4} \frac{\varphi(\eta)\varphi(\xi)}{\eta + \xi}, \quad (1)$$

где λ —это отношение коэффициентов рассеяния к поглощению (поглощение+рассеяние), а φ —вспомогательная функция *только одной переменной*, которая удовлетворяет весьма простому функциональному уравнению

$$\varphi(\eta) = 1 + \frac{\lambda}{2} \eta \int_{-1}^1 \frac{\varphi(\eta)\varphi(\xi)}{\eta + \xi} d\xi. \quad (2)$$

Таким образом, вместо исследования множества решений сложного линейного интегрального уравнения для различных значений η мы можем найти $\gamma(\eta, \xi)$, решая только одно, очень простое, нелинейное функциональное уравнение.

В последующих работах мы показали, что можно находить решения в более сложных случаях анизотропного рассеяния (случай неферрической индикатрисы), применяя тот же принцип инвариантности.

Было показано также, что в случае конечной оптической толщины τ_0 решение возможно посредством некоторого обобщения этого принципа. Добавляя слой толщины Δz к одной из границ среды, необходимо вычесть слой той же толщины от другой границы с тем, чтобы как функция $\gamma(\eta, \xi)$, описывающая диффузное отражение, так и $S(\eta, \xi)$, описывающая диффузное пропускание, оставались неизменными. Очевидно, что в этом случае обе функции будут зависеть также от значения конечной оптической толщины τ_0 , которая входит как параметр.

Таким путем был развит мощный аппарат для решения наиболее сложных проблем переноса излучения и нейтронов, которые часто имеют более общую природу, чем задачи диффузного отражения и пропускания.

В годы, предшествовавшие второй мировой войне, мною была предложена формализованная схема пылевого слоя в Галактике, производящего межзвездное поглощение. Она состоит из совокупности распределенных в пространстве плоскопараллельных слоев поглощающих облаков. Эта совокупность облаков, благодаря случайности расположения их центров, должна вызывать статистические флуктуации в видимом распределении яркости вдоль Млечного Пути. Конечно, эта модель была создана только для изучения флуктуаций яркости и недостаточна для применения в других задачах, например, к динамике поглощающего вещества. Принцип инвариантности открыл удивительную возможность свести теорию этой модели флуктуаций блеска к простым функциональным уравнениям. В дальнейшем, более глубоко эти вопросы были разработаны в работах С. Чандрасекара и Г. Мюнча.

Позже, после войны, нам удалось показать, что принцип инвариантности можно применить к решению некоторых *нелинейных задач* теории переноса. Однако значительных успехов в этой области достигнуто не было.

Совсем недавно армянский математик Р. В. Амбарцумян нашел, что принцип инвариантности может быть широко и с успехом приме-

нен в развиваемой им математической дисциплине—комбинаторной интегральной геометрии.

В то же время необходимо подчеркнуть, что, несмотря на изумительную логическую красоту этого метода и на простоту, принцип инвариантности в применении к астрофизике несколько ограничен необходимостью упрощающих предположений геометрического характера (в некоторых случаях плоские слои, в других—однородность среды).

Должен признать, что я всегда неодобрительно относился к недостаточным обоснованным «моделям» и «ad hoc», гипотезам, применяемым в астрофизике многими теоретиками. Видимо, это недоверие основано на произвольности характера таких приближений и частых ошибках, возникающих при их применении. Конечно, теория переноса излучения так же, как и принцип инвариантности, в отличие от таких ad hoc моделей, скорее полезна как *математический и логический аппарат* для исследований. Однако некоторые довольно узкие предположения, которые мы делаем, используя этот аппарат, схожи с «созданием моделей». Это привело к тому, что я не стал ограничивать свои исследования только в этом направлении. Я всегда стремился найти новые пути непосредственного использования эмпирических данных с целью обнаружения закономерностей, описывающих астрофизические явления. В связи с этим я всегда считал подход, называемый в настоящее время «обратные задачи», очень многообещающим.

II. Обратные задачи

Непосредственно после окончания Ленинградского университета мое внимание было привлечено к следующему вопросу: в какой степени совокупность эмпирических данных атомной физики (частоты спектральных линий, вероятности переходов и т. д.) определяет однозначно систему правил и законов квантовой механики или, конкретно, форму уравнения Шредингера. Я скоро понял, что, конечно, строгое решение такой задачи мне не под силу, но решил, однако, сосредоточиться на более скромной и более простой задаче такого же типа. Я нашел, что больше подходит следующая узкая проблема: *в какой степени совокупность собственных значений обыкновенного дифференциального оператора определяет те функции и параметры, которые входят в этот оператор?* Даже решение этой обратной задачи связано с большими трудностями. Поэтому я ограничился опубликованием в «*Zeitschrift für Physik*» за 1929 год статьи, которая содержала общую проблему и доказательство теоремы, что среди всех струн только однородная струна имеет свойственную ей систему частот собственных колебаний. Повидимому, в последующие пятнадцать лет эта работа оставалась незамеченной (когда астроном публикует математическую работу в физическом журнале, трудно ожидать, что найдется много читателей). Однако с начала 1944 года эта работа была замечена и продолжена в статьях многих выдающихся математиков, которые добились больших результатов, относящихся к «обратной задаче Штурма-Лиувилля».

Что касается меня, то в течение многих лет я упорно искал другие случаи, где можно было бы прямо из наблюдательных данных вывести законы природы. Невозможно забыть, что одно из величайших открытий в истории астрономии—установление законов движения планет Кеплером—по существу было найдено решением следующей обратной задачи: две планеты обращаются вокруг Солнца по орбитам, из которых одна помещается целиком внутри другой (для простоты предположим, что обе орбиты находятся в одной плоскости). Движе-

ния периодические, но периоды несоизмеримы. Наблюдатель на внутренней планете непрерывно измеряет местонахождение внешней планеты и Солнца. Необходимо определить из этих наблюдений как форму и относительные размеры орбит, так и скорости в различных точках орбиты. Результатом решения этой задачи было открытие законов Кеплера. Правда, для нахождения траектории движения Марса, Кеплер применил метод «проб и ошибок», стремясь представить эту траекторию одной из известных геометрических фигур, однако ясно, что основной результат был достигнут анализом и решением *обратной задачи*.

Были и другие интересные примеры решения замечательных обратных задач в классической астрономии. Однако только отдельные случаи имели место в астрофизике. Широко известным примером является выведение пространственного распределения звезд в шаровом звездном скоплении из наблюдаемого распределения их проекций на небе. Проблема была сведена к интегральному уравнению Абеля, которое имеет простое решение.

В одной из своих популярных статей Эддингтон выдвинул следующий вопрос: возможно ли определить функцию распределения $\varphi(\xi, \eta, \delta)$ компонент пространственных скоростей звезд в окрестности Солнца, исходя только из одних *лишь наблюдений радиальных скоростей*, не делая при этом никаких особых предположений о виде функции φ . Решение этой задачи приводится в статье, которую я написал в 1935 г. и которая была представлена для опубликования в „Monthly Notices of The Royal Astronomical Society“ А. С. Эддингтоном.

В этой работе было показано, что математически эта проблема сводится к нахождению значений функции трех координат в пространстве скоростей, где значения интегралов этих функций по любой плоскости в этом пространстве заданы как функция трех параметров, определяющих эту плоскость. Задача решается в конечном виде и первые же попытки показали возможность применения этого метода на основе существующих данных о радиальных скоростях звезд. Думаю, что теперь, когда мы имеем каталоги радиальных скоростей много богаче прежних, было бы неплохо снова попробовать применить этот метод.

Совсем недавно метод обратных задач нашел широкое применение в статистике вспыхивающих звезд в открытых звездных скоплениях и ассоциациях. Давайте рассмотрим здесь одну из простейших задач относительно вспыхивающих звезд. Есть серьезные основания считать, что последовательность вспышек каждой вспыхивающей звезды может быть представлена как процесс Пуассона, с некоторой средней частотой событий ν . Тогда возможно показать, что между математическими ожиданиями n_k количества звезд, вспыхивающих k раз за τ время наблюдений, мы имеем следующее соотношение:

$$n_0 = \frac{n_1^2}{2n_2}. \quad (3)$$

Согласно определению, n_0 —это ожидаемое количество вспыхивающих звезд, которые ни разу не вспыхнули за все время наблюдений. Другими словами, это количество вспыхивающих звезд, которые еще не обнаружены. Следовательно, добавив это n_0 к сумме $n_1 + n_2 + \dots$ всех звезд, наблюдавшихся во вспышке (это значит к количеству известных вспыхивающих звезд), мы можем найти общее количество N вспыхивающих звезд в данном звездном агрегате. Конечно, на практике,

вместо математического ожидания n_1 и n_2 мы используем наблюдаемое количество звезд, вспыхнувших один или два раза соответственно, и рассматриваем полученное значение n_0 как приближительное. Для корректности (3) необходимо предположить, что средняя частота вспышек одинакова для всех вспыхивающих звезд. У нас есть сильные аргументы, что это предположение определенно неверно. Однако нетрудно показать, что в этом случае мы вместо (3) имеем неравенство

$$n_0 \geq \frac{n_1^2}{2n_2}, \quad (4)$$

которое дает возможность оценить нижнюю границу общего числа вспыхивающих звезд. Этим путем было определено, что общее количество вспыхивающих звезд в Плеядах должно превышать тысячу. Первоначально эта оценка была сочтена завышенной, поскольку общая масса Плеяд по теореме вириала составляет около 400 солнечных масс. Но сейчас нет никаких сомнений в столь большом количестве вспыхивающих звезд в Плеядах.

Позже в этом свете обсуждалась много более сложная и тонкая задача определения функции $i(v)$ распределения средних частот звездных вспышек среди членов звездного агрегата.

Интересно, что в этом случае мы приходим к обратной задаче, где распределение наблюдавшихся первых вспышек различных звезд в течение всего периода патрулирования агрегата играет роль «известной функции». Так как «первая вспышка» в то же самое время является моментом открытия вспыхивающей звезды, значит, знание распределения открытий важно для нахождения $i(v)$. Таким образом, *хронология открытий* вспыхивающих звезд содержит важную информацию об $i(v)$. Было также показано, что распределение «вторых вспышек», выраженных как функция от времени патрулирования, тоже содержит очень важную информацию о $i(v)$. Но момент второй вспышки является моментом подтверждения открытия. Поэтому *хронология подтверждений* также важна для рассматриваемой проблемы.

Значимость обратных задач для астрофизики была подробно обсуждена нами в отдельной статье, представленной недавно на Международном симпозиум фундаментальных проблем теоретической и математической физики в Дубне (август, 1979), которая увидит свет в трудах этого симпозиума. Там приводятся и другие примеры.

III. Эмпирический подход к эволюционным процессам во Вселенной

С самого начала моей работы в астрофизике меня интересовали вопросы происхождения и эволюции звезд и галактик. Для меня было ясно, что старый подход с помощью космогонических гипотез и умозрительных моделей вряд ли может привести к серьезным результатам. Было ясно, что следует начинать с эмпирических данных, с их сопоставления и анализа.

Эволюционные процессы во Вселенной крайне сложны и многообразны. Поэтому нет шансов понять их на основе одной или нескольких моделей или гипотез, которые должны дать нам объяснение всей совокупности наблюдаемых фактов. Вместо того, чтобы делать в той или иной степени произвольные предположения, мы должны терпеливо анализировать полученные до сих пор эмпирические данные и попытаться вывести из них заключения о различных звеньях тех много-

численных эволюционных цепей, которые на самом деле существуют в действительности. Необходимо было найти общую идею относительно путей, как это сделать. В середине 30-х годов я решил применить этот подход в моей работе об этих проблемах.

Основная мысль заключалась в том, чтобы находить ситуации, когда можно относительно легко, на основании простых и более или менее очевидных соображений определить, исходя из известного современного состояния астрономического объекта или системы, направление изменений, которые должны происходить в этом состоянии, даже не зная других фаз его эволюции. Грубо говоря, мы должны попробовать собрать данные о первом производном состоянии, которое наблюдаем. Такой подход во многих случаях может дать нам возможность связать в единую цепь разные наблюдаемые состояния некоторых объектов без каких-либо искусственных предположений. В некоторых случаях такие цепи (или, скорее, части цепей) могут сами по себе быть очень короткими, но упорный труд в свое время приведет к успеху в решении все более сложных проблем. Я считаю очень важным для себя, что решил следовать этому пути насколько возможно строго.

Так, изучая проблему *планетарных туманностей*, я нашел, что они находятся в равновесном состоянии. Но решающее значение для понимания путей эволюции планетарных туманностей имел вывод Цанстра о структуре эмиссионных линий этих объектов. Он показал, что единственным объяснением необычного вида этих линий является расширение этих туманностей. Таким образом, скоро стало очевидным, что планетарные туманности появляются в результате выброса внешних слоев центральных звезд в окружающее пространство.

При анализе последствий взаимодействия членов *звездного скопления* при близких прохождении их друг около друга мы нашли, что эти взаимодействия должны приводить к относительно быстрому «испарению» таких скоплений. Время жизни, полученное на основании этого для наблюдаемых открытых скоплений оказалось порядка 10^8 — 10^9 лет, что значительно меньше времени жизни Галактики.

Таким образом, было найдено, что наблюдаемые открытые скопления являются относительно молодыми и быстро эволюционирующими системами, а также, что общее звездное поле Галактики постепенно обогащается за их счет. В то же время образование скоплений из отдельных звезд поля практически невозможно.

Уже после второй мировой войны я пришел к выводу, что в Галактике наблюдаются еще более молодые группы звезд, которые получили название *звездных ассоциаций*. Они содержат часто горячие гиганты (O и B-звезд) и всегда большой процент переменных карликов (звезды типа T Тельца и вспыхивающие звезды). Возраст многих ассоциаций измеряется временем порядка от 10^6 до 10^7 лет. Само их существование было доказательством двух фундаментальных положений, касающихся происхождения членов Галактики: 1) возникновение звезд в нашей Галактике продолжается в нынешней фазе ее развития и 2) звезды возникают относительно большими группами (ассоциации и скопления).

Последовавшее обнаружение наличия в некоторых ассоциациях кратных звезд специального типа—систем типа Трапеции—показало, что ассоциации содержат подгруппы звезд, которые моложе, чем ассоциация в целом, и имеют возраст между 10^5 и 10^6 лет, т. е. на один порядок моложе, чем возраст ассоциации в целом.

С другой стороны, еще в тридцатых годах я пытался исследовать статистику элементов орбит *двойных звезд* в Галактике, чтобы найти

некоторые указания относительно направлений ее динамической эволюции. В результате оказалось, что широкие звездные пары быстро распадаются. А существование очень широких пар дало возможность оценить верхний предел возраста Галактики, по крайней мере, в данном состоянии. Этот предел совершенно независимо от космологических соображений оказался около 10^{10} лет.

Для достижения дальнейшего прогресса в понимании эволюционных процессов необходимо не только избегать искусственных моделей, но надо стараться избавиться от некоторых *предрассудков*, кажущихся с первого взгляда вполне логичными и остающихся от классических космогоний. Первый из таких предрассудков—это представление о том, что в начале космической эволюции материя должна находиться в диффузном (главным образом в газовом) состоянии. Многие теоретики придерживаются этого мнения и до сих пор. Но трудно найти какие-либо прямые свидетельства в пользу такого допущения среди астрономических данных.

Вторым предрассудком, связанным с первым, является убеждение, что главная проблема космогонии заключается в объяснении возникновения конденсированных тел, конечно, из диффузных облаков. Но, изучая положения тел в нашей Галактике, так же, как и во внешних галактиках, можно непосредственно увидеть, что туманности (и не только планетарные или кометарные) находятся в состоянии весьма быстрых изменений. Очевидно, что их время жизни во много раз короче, чем время жизни плотных тел—таких, как звезды и планеты. Поэтому вообще гораздо правильней начать выяснять направление эволюции с изучения переменности туманностей.

В случае планетарных туманностей почти очевидно их образование выбросом внешних частей звезды и их конечная судьба—в полной диссипации в окружающем пространстве. Радиотуманности, лучший вид которых Крабовидная туманность, являются результатом вспышки сверхновой и диссипации подобным образом. Есть много свидетельств о расширении некоторых массивных диффузных туманностей. То же самое можно сказать о так называемых *компактных III областях*. Следовательно, остается фактом, что почти везде мы прямо или косвенно наблюдаем образование туманностей путем выброса из групп или отдельных звезд. Но свидетельств в пользу обратного (коллапсов туманностей, аккреции диффузной материи) встречается редко, и порою они очень сомнительны. Конечно, не исключено, что в будущем могут быть найдены более веские аргументы подобного типа, но в настоящее время в сложившейся картине Вселенной преобладают процессы взрывов из массивных объектов с последующим образованием таких недолго существующих объектов, как туманности. Кажется, что если бы проблема образования и эволюции туманностей была бы сформулирована ранее, то решения многих более общих проблем, связанных с эволюционными процессами во Вселенной, могли бы быть достигнуты намного скорее.

Одним из наиболее интересных вопросов, связанных со звездными ассоциациями, является *расширение* некоторых из них или содержание в них расширяющихся групп звезд. В наших первых работах по звездным ассоциациям (1947—1951) было высказано предложение, что расширение—общее явление для ассоциаций. Профессор Блау, на основании изучения собственных движений членов звездной ассоциации Персей II, заключил, что она действительно в стадии расширения. В дальнейшем он нашел явление расширения в одной из частей ассоциации Скорпион—Центавр. В то же время, во многих других ассо-

циациях заметного расширения не было найдено. Правда, отрицательный результат окончателен только для нескольких близких ассоциаций. Следовательно, есть только один или два случая, где мы определенно не имеем явления простого расширения. Однако существование некоторого числа расширяющихся групп является свидетельством о каких-то взрывных процессах, сопровождающих рождение звезд или с ранней стадией эволюции молодых групп. Здесь опять эмпирические данные находятся в резком противоречии с гипотезой конденсации диффузного вещества в звезде.

В последующие годы (1955—1965) я обратил внимание на явления, происходящие в ядрах галактик и вокруг них. В прошлом астрономы и особенно теоретики проявили мало интереса к свойствам ядер галактик. На Сольвейской конференции 1958 года я представил доклад, в котором показал, что эти ядра иногда являются центрами крупномасштабной активности, которая проявляется в различной форме. Было показано, что радиогалактики не являются результатом столкновений галактик, как это было принято в это время, а являются системами, в которых имеет место выброс материи огромной мощности из ядер. Следствием таких взрывов является образование облаков частиц высоких энергий.

Последовавшее затем открытие квазаров показало, что существует еще одна форма активности ядер, выражающаяся в том, что значительная часть испускаемой энергии излучается как незвездное оптическое излучение ядер. В таких случаях светимость ядер часто превышает в 10^{11} или в 10^{12} раз, и даже больше, светимость Солнца.

Важным достижением Б. Е. Маркаряна, Э. Е. Хачикяна и других работающих со мной в Бюраканской обсерватории астрономов является более детальное наблюдательное изучение оптических проявлений активности галактик таких, как ультрафиолетовый избыток и сильные эмиссионные линии. Десятикратное увеличение числа сейфертовских галактик, которое явилось одним из результатов этой их работы, открыло новые возможности в понимании процессов активности ядер.

В 1966 г. в Бюраканской обсерватории и в 1970 г. в Академии наук Ватикана были организованы международные симпозиумы, посвященные обсуждению различных форм активности ядер, включая явления в квазарах и галактиках Сейферта. С тех пор выполнен огромный объем наблюдательной работы в различных обсерваториях мира с целью достичь лучшего понимания рассматриваемых процессов. Однако следует признать, что в теоретическом истолковании пока успехи невелики.

В то время как наблюдаемые формы активности ядер прямо говорят о явлениях взрывов и расширений в центральных частях галактик, некоторые теоретики еще продолжают строить модели ядерных явлений, в которых явлениям выброса вещества из ядра обязательно предшествует какой-либо коллапс большой массы диффузного вещества. Согласно таким моделям выброс вещества является лишь вторичным эффектом, вызванным процессом коллапса. Вряд ли следует снова подчеркивать, что я весьма скептически отношусь к этим умозрительным конструкциям. Я не вижу ни малейших наблюдательных свидетельств в их пользу. Здесь опять мы имеем дело с влиянием старых предрассудков, согласно которым эволюционные процессы во Вселенной сводятся к разным явлениям сжатия и конденсации.

IV. Заключительные замечания

В заключение я хотел бы дать оценку степени успешности в каждом из обсужденных выше направлений и исследований.

1. Я весьма удовлетворен, что в течение 37 лет, прошедших после опубликования моей первой работы о применении принципа инвариантности, были достигнуты многочисленные новые важные результаты. Исследования были расширены в блестящих работах В. В. Соболева и его сотрудников. Профессор Р. Беллман ввел «инвариантное вложение». Участие профессора С. Чандрасекара в разработке этой области чрезвычайно обрадовало как меня, так и моих молодых сотрудников. Я предвижу еще более широкое применение принципа инвариантности ко многим вопросам математической физики и даже к другим областям точных наук.

2. Очевидно, что успех в области обратных задач в астрофизике оказался весьма скромным. Дело в том, что с самого начала к этому направлению я относился с большим энтузиазмом, чем к двум другим. Это показывает, что во всех случаях успех зависит не столько от желаний или способностей исследователя, но прежде всего от общего положения дел в рассматриваемой области и, конечно, от трудностей задачи. Но и сейчас я не сомневаюсь, что это направление является весьма обещающим для астрофизики. Я пользуюсь этой возможностью, чтобы выразить мою убежденность, что в будущем оно сыграет большую роль, в частности, в космологии.

3. Подход к изучению эволюционных процессов, который был представлен выше как третье направление моих изысканий, получил за последнее десятилетие широкое распространение в астрофизике. Он проник почти во все области нашей науки. Может быть, не было бы преувеличением сказать, что отчасти благодаря этому подходу и упорной работе целого поколения астрофизиков, астрофизика как наука превратилась в эволюционную науку.

Всякому теперь очевидно, что совокупность проблем происхождения и эволюции небесных тел нельзя решить с помощью одной или нескольких спекулятивных моделей. Новые открытия расширяют объем задач, стоящих в этой области перед нами.

Мое скептическое отношение ко многим предложенным формальным теоретическим моделям подтверждается тем, что почти все новые интересные открытия, которыми особенно были богаты последние три десятилетия, явились неожиданными для таких моделей. Попытки приспособить эти модели к новым наблюдательным данным обычно не приносит особого успеха.

Приведем здесь два примера полной несостоятельности спекулятивного подхода.

а) Многие теоретики считают, что мы уже обладаем более или менее последовательной теорией звездной эволюции. Сотни моделей были рассчитаны, в частности, для ранних стадий эволюции. Но именно эта теория оказалась не в состоянии предвидеть такое важное явление, как звездные вспышки. Сейчас нет никаких сомнений, что большинство звезд после периода формирования (стадия Т Тельца) проходят эту фазу эволюции. Поэтому первоочередной задачей любой эволюционной теории должно быть объяснение особенностей вспышечных процессов. Однако большинство моделей до сих пор игнорируют эту потребность.

б) Положение дел еще хуже с проблемой фуоров (термин, употребляемый в Советском Союзе для обозначения звезд типа FU Ориона).

Осознание факта, что эта стадия развития должна играть существенную роль в жизни, по крайней мере, определенной категории звезд, может иметь фатальное значение для многих умозрительных теорий. Положение этих теорий становится еще более критическим, если учитывать, что существует целая последовательность различных звезд, которые в фотометрическом отношении ведут себя более или менее подобно фуорам.

Звезда Р Лебеда, которая поярчала почти четыре века тому назад, является примером такой звезды. Хорошо известно, что в каждой спиральной и иррегулярной галактике имеется много сверхгигантов. Поэтому явления поярчания звезд типа пре-Р Лебеда очень важны для понимания эволюции супергигантов.

Нет сомнений, что наблюдательное исследование подобных звезд и процессов должно дать хороший строительный материал для построения картины звездной эволюции.

Хочется добавить несколько слов для того, чтобы моя критика умозрительных теорий и моделей была бы правильно понята. Ведь никто не может отрицать роли, которую они сыграли в науке. Первое из направлений моих изысканий, о котором говорилось выше (принципы инвариантности), гораздо ближе к построению моделей, чем к эмпирическому исследованию. Но я возражаю против умозрительных построений в случаях, обсужденных выше, когда игнорируются важные наблюдательные данные. Это вряд ли приведет к хорошим результатам.

Природа до сих пор хранит многие свои секреты. Наша задача раскрыть их. Естественно пытаться делать это наблюдением тех мест, где они скрыты. Вряд ли мы добьемся нашей цели только построением теорий.