

О НЕКОТОРЫХ ТЕНДЕНЦИЯХ В РАЗВИТИИ АСТРОФИЗИКИ*

В. А. АМБАРЦУМЯН

Изложены главные результаты, полученные автором в следующих областях:

1. Принципы инвариантности, применяемые в теории переноса излучения.
2. Обратные задачи астрофизики.
3. Эмпирический подход к проблемам происхождения и эволюции звезд и галактик.

В в е д е н и е

Шестьдесят лет тому назад, когда я учился в средней школе в столице Грузии, я прочитал случайно попавшуюся мне популярную книгу по астрономии. Ее содержание меня просто поразило. И хотя до этого меня больше всего привлекала математика, я без колебаний решил посвятить себя астрономии. Мой отец, Амазасп Амбарцумян, питомец Петербургского университета, и мой учитель Николай Судаков, окончивший в начале этого века Московский университет по специальности «астрономия», советовали мне поступить в Ленинградский университет. Зная, что это означает возможность почти сразу же познакомиться с Пулковской обсерваторией, обладавшей тогда самыми крупными телескопами в Союзе и где работало несколько выдающихся астрономов, я последовал их совету.

В годы моего обучения в Ленинградском университете (1925—1928 гг.) я уделял главное внимание астрономическим и математическим предметам. Хотя я всегда сознавал необходимость лучшего знания физики, в то время эта дисциплина не очень привлекала меня. Правда, в течение моих двух последних университетских лет логическая красота квантовой механики, так же как и некоторых аспектов статистической физики, произвели на меня глубокое впечатление. Но даже сейчас я чувствую, что мое знание физики было неполным и недостаточным для астрофизика-теоретика.

Быть может, это обстоятельство, так же как и недостаток физической интуиции были причинами того, что в течение пятидесяти лет моей научной деятельности я сосредотачивался главным образом на тех направлениях, где логическая последовательность важнее, чем физическая пронизательность. В то же время я потратил много времени на изучение данных, полученных наблюдателями.

* Авторизованный перевод переработанного и расширенного варианта статьи, опубликованной в журнале "Ann. Rev. Astron. Astrophys.", 18, 1—13, 1980. Перевод с английского выполнен А. Ю. Ходжамияном под редакцией Л. В. Мирзояна.

Современная астрофизика имеет дело с необычайным разнообразием и богатством наблюдательных данных, с огромным множеством космических тел и систем. Эти тела и системы иногда обладают различными масштабами и свойствами. В то же время здесь исследователь сталкивается с большим разнообразием путей научных исследований и форм мышления.

Тем не менее, случилось так, что мои личные усилия в науке были почти целиком посвящены трем главным направлениям теоретической работы: 1) принципы инвариантности и их применение к теории лучистого переноса, 2) обратные задачи астрофизики и 3) эмпирический подход к проблемам происхождения и эволюции звезд и галактик.

Ниже я приведу краткий обзор результатов, полученных в каждом из этих трех направлений.

1. Принципы инвариантности и теория лучистого переноса

Проблема рассеяния и поглощения света в среде, состоящей из плоско-параллельных слоев, была рассмотрена в классических работах Шварцшильда, Шустера, Эддингтона, Милна и Чандрасекара. По существу, их метод был связан с рассмотрением баланса лучистой энергии во всех элементарных объемах внутри среды. В простейшем случае изотропного рассеяния проблема может быть сведена к некоторому интегральному уравнению с ядром $E_1(|\tau - t|)$, где E_1 есть так называемый интегральный логарифм:

$$E_1 y = \int_1^{\infty} e^{-y t} \frac{dt}{t}.$$

Случай изотропного и монохроматического рассеяния сравнительно прост. Однако общая задача анизотропного рассеяния с некоторым законом перераспределения частот (что важно для теории линий поглощения) связана со многими сложностями и трудностями.

Еще будучи студентом университета я попытался внести вклад в эту область. Моя дипломная работа была посвящена интегральному уравнению лучистого равновесия. Однако первые существенные результаты были достигнуты мною лишь в 1932—1933 гг., когда я разработал метод последовательного анализа полей Лайман-континуума и L_{α} -излучения при рассмотрении лучистого равновесия планетарных туманностей. До второй мировой войны я нашел также простой способ рассмотрения проблемы монохроматического рассеяния в глубоких слоях среды (например, в глубоких слоях моря) с произвольной индикатрисой рассеяния. Но все это делалось в рамках классических методов. Лишь в 1941 г. я обнаружил, что существуют и другие возможности.

Рассмотрим среду, состоящую из плоско-параллельных слоев, заполняющих полупространство $z < 0$ с граничной плоскостью $z = 0$. Параллельный пучок света с плотностью потока μS , падающий на эту границу под углом $\arcsin \cos \eta$ к нормали, проникает в среду и испытывает там многочисленные элементарные процессы рассеяния и поглощения. В резуль-

тате некоторая часть начального пучка будет рассеяна обратно в полупространство $z > 0$ в разных направлениях. Это явление называется «диффузным отражением» света от среды. Интенсивность $I(\xi)$ света, диффузно отраженного в направлении $\arccos \xi$, зависит от обеих величин η и ξ :

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

Согласно классическим методам, для того, чтобы найти функцию $r(\eta, \xi)$, необходимо решить вышеупомянутое интегральное уравнение для различных значений параметра η , определяя тем самым поле излучения для каждого η как функцию глубины. Однако затем часто нам бывают нужны лишь интенсивности при $z = 0$, которые определяют $r(\eta, \xi)$.

Чтобы избежать вычисления данных, характеризующих поле излучения в слоях $z < 0$, я решил попытаться использовать следующее обстоятельство. Функция $r(\eta, \xi)$, очевидно, не изменится, если добавить к границе $z = 0$ дополнительный тонкий слой Δz , имеющий те же оптические свойства, что и первичная среда.

Это означает, что различные дополнительные процессы рассеяния и поглощения в этом случае будут в точности компенсировать друг друга. Записав это условие компенсации, мы можем получить уравнение для $r(\eta, \xi)$. Решающий момент состоял в понимании того факта, что ни одна из величин, непосредственно относящихся ко внутренним слоям, не входит в это уравнение. Уравнение содержит лишь неизвестную функцию $r(\eta, \xi)$. Полученное таким образом уравнение было затем нами выведено также из самого интегрального уравнения лучистого равновесия.

Требование неизменности $r(\eta, \xi)$ при добавлении к границе дополнительного слоя называется «*принципом инвариантности*».

В простейшем случае монохроматических и изотропных элементарных процессов мы из этого принципа получили, что величина $r(\eta, \xi)$ как функция двух переменных должна иметь следующую структуру:

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

где λ — отношение коэффициента рассеяния к коэффициенту экстинкции (поглощение + рассеяние), а φ — вспомогательная функция только одной переменной, которая удовлетворяет весьма простому функциональному уравнению

$$\varphi(\eta) = 1 + \frac{\lambda}{2} \eta \int_0^1 \frac{\varphi(\eta) \varphi(\xi)}{\eta + \xi} d\xi. \quad (2)$$

Таким образом, вместо поиска семейства решений сложного линейного интегрального уравнения для различных значений η мы можем получить $r(\eta, \xi)$, решая всего лишь одно очень простое нелинейное функциональное уравнение.

В последующих работах нами было показано, как, применяя тот же принцип инвариантности, можно трактовать более сложные случаи анизотропного рассеяния (случай несферической индикатрисы).

Было показано также, что случай конечной оптической толщины τ_0 может быть рассмотрен путем некоторого обобщения того же принципа. Добавляя слой толщины Δz к одной из границ, мы должны в этом случае отнять слой равной толщины от другой границы и потребовать, чтобы и функция $r(\eta, \xi)$, описывающая диффузное отражение, и функция $S(\eta, \xi)$, описывающая способность диффузного пропускания, оставались при этом неизменными. Конечно, в этом случае обе эти функции будут зависеть также от значения конечной оптической толщины τ_0 , которая входит как параметр.

Таким образом, было развито мощное средство решения наиболее сложных задач переноса излучения и нейтронов, которые часто имеют более общую природу, чем задачи диффузного отражения и пропускания.

До второй мировой войны, работая над проблемами галактического поглощения, я ввел формализованную схему поглощающего пылевого слоя в Галактике, вызывающего общее поглощение в этой звездной системе. Этот слой состоит из дискретных облаков, случайно распределенных между двумя параллельными плоскостями. Случайное распределение поглощающих облаков вызывает флуктуации в видимом распределении поверхностной яркости Млечного Пути. Конечно, эта модель была построена только для изучения флуктуаций яркости и неадекватна в применении к другим проблемам, например, к динамике поглощающего вещества.

Удивительным образом принцип инвариантности открыл возможность сведения теории флуктуаций яркости в такой модели к очень простому функциональному уравнению. Проблема была исследована далее в серии статей С. Чандрасекара и Г. Мюнха в гораздо более законченном виде.

В течение послевоенных лет мне удалось показать также, что принцип инвариантности можно применить к некоторым нелинейным проблемам переноса излучения. Однако результатов выдающегося значения здесь достигнуто не было.

Совсем недавно армянский математик Р. В. Амбарцумян показал, что принцип инвариантности широко применим в развитой им новой области математики — комбинаторной интегральной геометрии.

Не умаляя логической красоты и простоты принципа инвариантности, в то же время необходимо признать, что его астрофизические приложения до некоторой степени ограничены из-за ряда предположений геометрического характера (в некоторых случаях — плоские слои, в других — однородность среды).

Здесь я должен сознаться в том, что всегда неодобрительно относился к методам надуманных гипотез и «моделей», используемых в астрофизике многими теоретиками без каких-либо разумных ограничений. По-видимому это недоверие основано на произвольном характере подобных подходов и частых неудачах в их применении. Конечно, в отличие от таких надуманных моделей теория лучистого переноса также, как и принципы инвариантности, является, скорее, полезным математическим и логическим методом исследования. Однако некоторые ограничивающие предположения, которые мы порой делаем, развивая эти методы, напоминают «моде-

«строение». Именно по этой причине я не мог ограничить свои исследования исключительно этим направлением мышления. Я всегда стремился найти новые пути для прямого использования эмпирических данных с целью нахождения закономерностей, управляющих астрофизическими явлениями. В этой связи я всегда считал весьма многообещающим подход, называемый сейчас «обратными задачами».

2. Обратные задачи

Непосредственно после окончания мною 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 систему законов и правил квантовой механики или, более конкретно, форму уравнения Шредингера? Очень скоро я пришел к выводу, что строгое решение этой проблемы вне моих возможностей, и я решил сосредоточиться на некоторой ограниченной и скромной проблеме такого рода. Я нашел, что более удобно рассмотреть следующий узкий вопрос: в какой степени собственные значения обыкновенного дифференциального оператора определяют функции и параметры, входящие в этот оператор? Даже решение этой обратной задачи связано со многими трудностями. Поэтому я ограничился публикацией в 1929 г. в журнале „*Zeitschrift für Physik*“ статьи, содержащей постановку общей проблемы и доказательство теоремы о том, что из всех струн однородная струна однозначно определяется набором своих собственных колебаний. По-видимому в течение последующих пятнадцати лет никто не обратил внимания на эту статью (когда астроном публикует математическую статью в физическом журнале, он не может надеяться привлечь слишком много читателей). Однако начиная с 1944 г. эта работа была продолжена в статьях целого ряда выдающихся математиков, которым удалось получить много интересных результатов, относящихся к «обратной задаче Штурма-Лиувилля».

Что касается меня, то я на протяжении многих лет настойчиво пытался найти и другие случаи, в которых можно было бы прямо из наблюдательных данных вывести закономерности природы.

Нельзя забывать, что величайшее астрономическое открытие в истории — установление законов Кеплера движений планет — было, по существу, сделано в результате решения следующей обратной задачи: две планеты движутся вокруг Солнца по замкнутым орбитам, из которых одна целиком расположена внутри другой (для простоты мы предполагаем, что обе орбиты лежат в одной и той же плоскости). Движения являются периодическими, но периоды не соизмеримы. Наблюдатель на внутренней планете непрерывно измеряет долготы внешней планеты и Солнца. Необходимо определить из этих наблюдений форму и относительные размеры двух орбит, а также скорости в различных точках орбит. В результате решения этой задачи и были открыты законы Кеплера. Правда, после того, как траектория Марса была найдена Кеплером, пришлось применить ме-

тод «проб и ошибок», чтобы представить эту траекторию в виде одной из известных геометрических фигур (эллипса), однако ясно, что основные результаты были достигнуты с помощью анализа и решения обратной задачи.

В классической астрономии было также много других интересных примеров решения выдающихся обратных задач. Однако в астрофизике было всего лишь несколько подобных случаев. Хорошо известный пример — это вывод пространственного распределения звезд в сферическом звездном скоплении из наблюдаемого распределения в проекции на небе. Задача была приведена к интегральному уравнению Абеля, имеющему простое решение.

В одной из своих популярных статей Эддингтон выдвинул следующий вопрос: можно ли найти функцию распределения $\varphi(\xi, \eta, \zeta)$ компонент пространственных скоростей звезд в окрестностях Солнца, исходя из одних лишь радиальных скоростей, не делая каких-либо специальных предположений о форме φ . Эта проблема была решена в статье, которую я написал в 1935 г. и которая была представлена А. С. Эддингтоном для публикации в журнале "Monthly Notices of the Royal Astronomical Society".

В этой статье было показано, что математически проблема сводится к задаче нахождения значений функций трех координат в пространстве скоростей, когда значения интегралов от этой функции по любой плоскости заданы в виде функции трех параметров, определяющих плоскость в этом пространстве. Задача разрешима в конечном виде, и самые первые попытки показали применимость этого метода к существующим данным о радиальных скоростях. Я думаю, что в настоящее время, когда мы располагаем гораздо более богатыми каталогами радиальных скоростей, стоит попытаться применить это решение снова.

Как затем стало ясно, многие задачи рентгеновской томографии (в частности такие, как послойное изучение сечений мозга) в математическом отношении эквивалентны этой задаче нахождения распределения пространственных скоростей. Путем применения современных ЭВМ эта идея в семидесятых годах нашла свое практическое решение, и сейчас целый ряд больниц обладает соответствующими установками. Таким образом, подход с точки зрения обратных задач нашел здесь повседневное применение.

Совсем недавно подход обратных задач нашел широкое применение к статистике вспыхивающих звезд в открытых скоплениях и ассоциациях. Рассмотрим здесь одну из простейших проблем, связанных с этими вспыхивающими звездами. Есть серьезные основания верить, что последовательность вспышек любой вспыхивающей звезды имеет вид стационарного пуассоновского процесса с некоторой средней частотой появления ν . Тогда можно показать, что между математическими ожиданиями n_k чисел звезд, вспыхнувших по k раз в течение полной продолжительности τ наблюдения, мы имеем соотношение

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

В соответствии с определением, n_0 есть математическое ожидание числа вспыхивающих звезд, которые не вспыхивали в течение всего време-

ни наблюдений. Другими словами, это есть число вспыхивающих звезд, которые еще не открыты. Следовательно, добавляя это число n_0 к сумме $n_1 + n_2 + \dots$ всех звезд, наблюдаемых во вспышках (т. е. к полному числу известных вспыхивающих звезд), мы можем получить полное число N вспыхивающих звезд в данной звездной системе. Конечно, на практике вместо математических ожиданий n_1 и n_2 мы используем наблюдаемые числа звезд, вспыхнувших один и два раза соответственно, и рассматриваем получаемое значение n_0 в качестве приближенного. Для справедливости соотношения (3) необходимо предположить, что все вспыхивающие звезды имеют одну и ту же среднюю частоту вспышек. Мы имеем убедительные указания на то, что это предположение определенно неверно. Легко показать, однако, что в этом случае мы имеем вместо (3) неравенство

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

которое дает возможность оценить нижнюю границу полного числа вспыхивающих звезд. Таким способом было установлено, что полное число вспыхивающих звезд в Плеядах должно быть более одной тысячи. Первоначально эта оценка рассматривалась как завышенная, поскольку полная масса Плеяд, получаемая из теоремы вириала, составляет всего около 400 солнечных масс. Однако сейчас уже нет никаких сомнений в столь большом числе вспыхивающих звезд в Плеядах.

Позднее была рассмотрена гораздо более сложная и тонкая проблема определения функции распределения $f(v)$ средних частот звездных вспышек среди звезд, принадлежащих рассматриваемой системе.

Интересно, что в этом случае мы приходим к обратной задаче, в которой распределение впервые наблюдаемых вспышек различных звезд в течение всего периода слежения за системой играет роль «известной функции». Поскольку «первая вспышка» есть в то же время момент обнаружения вспыхивающей звезды, это означает, что для определения $f(v)$ существенно знание распределения открытий. Таким образом, хронология открытий вспыхивающих звезд содержит важную информацию о $f(v)$. Было показано также, что распределение «вторых вспышек», выраженное как функция текущего времени слежения, также содержит весьма важную информацию о $f(v)$. Но ведь момент второй вспышки означает момент подтверждения открытия. Поэтому и хронология подтверждений важна для рассматриваемой проблемы.

Значение обратных задач для астрофизики обсуждалось нами в деталях в специальной статье, представленной недавно на Международный симпозиум по фундаментальным проблемам теоретической и математической физики в Дубне (август 1979 г.). Статья опубликована в трудах этого симпозиума. В ней мы привели и другие примеры.

3. Эмпирический подход к эволюционным процессам во Вселенной

С самого начала моей работы в астрофизике меня интересовали проблемы возникновения и эволюции звезд и галактик. Для меня было ясно,

что старый подход с помощью глобальных космогонических гипотез или умозрительных моделей вряд ли может привести к серьезным результатам. Было ясно, что следует исходить из эмпирических данных.

Эволюционные процессы во Вселенной имеют чрезвычайно сложную и разнообразную природу. Поэтому невозможно понять их, используя небольшое число умозрительных моделей или гипотез. Вместо того, чтобы делать более или менее произвольные предположения, нам следует терпеливо анализировать полученные до сих пор эмпирические данные и пытаться вывести из них все возможные заключения о различных звеньях тех многих эволюционных цепей, которые существуют в действительности. Необходимо было найти некоторую общую идею о способах выполнения такой работы. В середине 1930-х годов я решил применить нижеследующий подход в моей работе над этими проблемами.

Идея заключалась в том, чтобы найти случаи, когда из настоящего состояния астрономического тела или системы относительно легко вывести направление изменений в состоянии этого тела (или системы), другими словами — найти случаи, когда можно делать заключения из простых соображений о тенденции эволюции в заданной фазе, не зная о всех остальных фазах. Таким образом, грубо говоря, мы должны попытаться собрать информацию о первой производной состояния, которое мы наблюдаем. Такой подход может во многих случаях дать нам возможность связать различные наблюдаемые состояния некоторых объектов в эволюционные цепи без искусственных допущений. В некоторых случаях подобные цепи или, скорее, куски цепей могут быть сами по себе весьма короткими, но терпеливая работа в свое время принесет успех в решении все более и более сложных проблем. Конечно, я не считаю этот подход моим собственным изобретением. Для меня было важно то, что я решил строго, насколько это возможно, следовать этому подходу.

Так, изучая проблемы планетарных туманностей, я обнаружил, что они не находятся в состоянии равновесия. Но решающее значение наблюдаемой структуры эмиссионных линий этих объектов для понимания направления эволюции планетарных туманностей было сформулировано Занстра. Он заключил, что единственным объяснением необычного вида этих линий является расширение туманностей. Таким образом, вскоре стало ясно, что планетарные туманности являются результатом выброса внешних слоев их центральных звезд.

Когда я проанализировал эффект взаимодействий членов звездного скопления при близких взаимных прохождении во время их движения, то пришел к неизбежному заключению, что происходит процесс «испарения» звезд из скопления. В случае открытых скоплений этот процесс должен быть относительно быстрым, с масштабом времени порядка 10^8 — 10^9 лет. Это — короткое время по сравнению со временем жизни Галактики.

Таким образом, было показано, что открытые скопления, которые в настоящее время существуют в Галактике, являются сравнительно молодыми и быстро меняющимися системами и что общее звездное поле Галактики непрерывно обогащается звездами за счет распада скоплений. В то

же время формирование скоплений из отдельных звезд поля практически невозможно.

После второй мировой войны я обнаружил, что гораздо более протяженные группы звезд и диффузных туманностей, названные нами *звездными ассоциациями*, намного моложе, чем обычные открытые скопления. Эти группы содержат часто горячие гиганты (О и В звезды) и всегда большой процент переменных карликов (переменных звезд типа Т Тельца и вспыхающих звезд). Возраст многих ассоциаций находится между 10^6 и 10^7 лет. Само их существование является доказательством двух фундаментальных фактов, относящихся к рождению звезд в Галактике: 1) формирование звезд есть процесс, продолжающийся в настоящую эпоху эволюции нашей Галактики, и 2) формирование звезд происходит в относительно больших группах (ассоциациях и скоплениях).

Последующее открытие того факта, что звездные ассоциации содержат кратные звезды особого типа — так называемые системы типа Трапеций — показало, что в ассоциациях существуют подгруппы, являющиеся более молодыми (возраст между 10^5 и 10^6 лет), чем сами ассоциации в целом.

С другой стороны, уже в 1930-х годах я пытался исследовать статистику элементов орбит двойных звезд в Галактике, чтобы получить некоторые указания о направлении их динамической эволюции. Окончательный вывод заключался в том, что широкие пары быстро распадаются. Следовательно, само существование некоторого числа очень широких пар ограничивает сверху возраст Галактики, по крайней мере, в ее настоящем состоянии. Этот предел совершенно не зависит от каких-либо космологических соображений и имеет порядок 10^{10} лет.

Для достижения дальнейшего прогресса в понимании эволюционных процессов было необходимо не только избежать использования умозрительных моделей, но также избавиться от некоторых *предрассудков*, которые выглядят на первый взгляд вполне естественными предположениями, оставшимися от классических космогоний. Первый предрассудок — это представление о том, что в первой фазе формирования астрономических тел или систем их состояние всегда является состоянием туманной материи. Даже сейчас это мнение преобладает среди многих теоретиков. Но трудно найти в наблюдательных данных прямое свидетельство в пользу подобного предположения.

Второй предрассудок, тесно связанный с первым, заключается в полном пренебрежении проблемой возникновения туманностей. Однако, подробно рассматривая ситуацию как в нашей Галактике, так и во внешних галактиках, можно заметить, что туманности всех типов (а не только планетарные или кометарные туманности) находятся в состоянии быстрых изменений. Время их жизни должно быть на несколько порядков величины короче, чем время жизни большинства звезд или планет. Следовательно, вполне естественно попытаться начать анализ эволюционных процессов с изучения изменений в туманностях. В случае планетарных туманностей можно почти непосредственно видеть их возникновение из выброса внеш-

них слоев звезды, а их конечную судьбу — в полном рассеянии в окружающем пространстве. Радиотуманности, лучшим примером которых служит Крабовидная туманность, являются результатом взрывов сверхновых и рассеиваются таким же образом. Имеется много свидетельств в пользу расширения некоторых массивных диффузных туманностей. То же самое верно и для так называемых компактных *Н II* областей. Таким образом, фактом является то, что почти везде, прямо или косвенно, мы наблюдаем формирование или обогащение туманностей путем выбросов из звезд или их групп. Но свидетельства в пользу обратных процессов (коллапсы туманностей, аккреция вещества туманностей) редки и временами весьма сомнительны. Конечно, не исключено, что более определенные свидетельства такого рода могут быть найдены в будущем, но в сегодняшней картине Вселенной доминируют процессы взрывов, выбросов из массивных тел и последующего формирования таких объектов как туманности. Кажется, что если бы проблема происхождения и эволюции туманностей была бы сформулирована ранее, решение многих более общих проблем, связанных с эволюционными процессами во Вселенной, могло бы быть достигнуто гораздо скорее.

Один из наиболее интригующих вопросов, касающихся звездных ассоциаций, заключается в том, что некоторые из них *расширяются* или содержат расширяющиеся группы звезд. В наших первых работах по звездным ассоциациям (1947—1951 гг.) было предсказано, что расширение есть общее явление для ассоциаций. Из наблюдаемых собственных движений в ассоциации Персей II профессор А. Блаау заключил, что эта ассоциация действительно находится в состоянии расширения. Позднее он обнаружил явление расширения в части ассоциации Скорпион-Центавр. В то же время во многих других ассоциациях не было найдено заметного расширения. Конечно, эти отрицательные заключения являются определенными лишь для ряда ближайших ассоциаций. Следовательно, есть только один или два случая, где мы определенно не имеем дела с явлением быстрого и простого расширения. В то же время существование по крайней мере нескольких расширяющихся групп является свидетельством в пользу процессов типа взрывов, связанных с рождением или с ранней стадией эволюции молодых звездных групп. И здесь эмпирические данные свидетельствуют против теорий конденсации диффузной материи в звезды.

В 1955—1965 гг. я обратил внимание на явления, происходящие в ядрах и вокруг ядер галактик. В прошлом астрономы и, в частности, теоретики не проявляли большого интереса к свойствам ядер галактик. В докладе, представленном на Сольвеевскую конференцию 1958 г., я показал, что эти ядра нередко являются центрами крупномасштабной активности, которая проявляется в различных формах. Было показано, что радиогалактики не являются результатами столкновений галактик, как считалось в то время, а являются системами, в которых имеют место выбросы огромного масштаба из ядер. В результате подобных выбросов формируются облака частиц высоких энергий.

Последовавшее затем открытие квазаров добавило еще одну форму ядерной активности, с помощью которой значительная часть высвобожденной энергии испускается в виде незвездного оптического излучения ядер. В таких случаях светимость ядра часто превышает в 10^{11} или 10^{12} раз (иногда даже больше) светимость нашего Солнца.

Это открытие не только явилось подтверждением идеи об активности ядер, но и привело к повышению интереса к ядрам галактик. Центр тяжести внегалактических исследований переместился к ядрам галактик.

В другом важном направлении развития астрономы Б. Маркарян, Э. Хачикян и другие, работающие вместе со мной в Бюраканской обсерватории, начали более систематическое наблюдательное изучение оптических проявлений активности в галактиках, таких как ультрафиолетовый избыток и сильные эмиссионные линии. Десятикратное увеличение числа известных галактик Сейферта, явившееся одним из результатов этой работы, открыло новые возможности понимания активных ядерных процессов.

На симпозиумах, организованных в 1966 г. в Бюраканской обсерватории и в 1970 г. в Ватиканской Академии наук, подробно обсуждались различные формы активности ядер, включая явления в квазизвездных объектах и в сейфертовских галактиках. С тех пор в различных обсерваториях мира был проделан огромный объем наблюдательной работы с целью лучшего понимания изучаемых процессов. Однако в теоретической интерпретации все еще мало прогресса.

В то время как наблюдаемые формы активности ядер прямо свидетельствуют в пользу фундаментальной природы процессов взрывов и расширения, происходящих в центральных областях галактик, многие теоретики все еще строят модели ядерных явлений, в которых процессам выброса предшествует некоторая форма коллапса больших количеств диффузной материи. Согласно таким моделям, выбросы являются всего лишь вторичными следствиями более фундаментальных процессов коллапса. Вряд ли следует говорить, что я весьма скептически отношусь к подобному умозрительному образу мышления. Нет свидетельств даже в пользу возможности подобного хода событий. Кажется, что подобный подход — это пережиток старого представления о том, что эволюционные процессы во Вселенной всегда идут в направлении сжатия и конденсации.

4. Заключительные замечания

В заключение я хотел бы дать свою оценку степени успешности в каждом из обсужденных выше трех направлений исследования.

1. Я весьма удовлетворен тем, что в течение тридцати семи лет, прошедших после опубликования моей первой статьи о применении принципа инвариантности, были достигнуты многочисленные важные результаты. Этот предмет был широко развит в блестящей работе профессора В. В. Соболева и его группы. Профессор Р. Беллман ввел «инвариантное вложение». Участие профессора С. Чандрасекара в развитии этой области во многом вдохновило меня, так же как и молодых людей, работавших не-

посредственно со мной. Я предвижу еще более широкое применение принципа инвариантности ко многим проблемам математической физики и других отраслей точных наук.

2. Очевидно, что успех в области обратных задач в астрофизике весьма скромнен. Получилось так, что еще с молодости у меня было больше энтузиазма по отношению к этому направлению, чем к двум другим. Это показывает, что во всех случаях успех зависит не столько от личных желаний или возможностей исследователя, сколько от общего состояния дел в рассматриваемой научной области и, конечно, от трудности самой задачи. Тем не менее, у меня нет сомнений в том, что это — весьма многообещающее направление для астрофизики. Я пользуюсь этой возможностью, чтобы выразить свое убеждение в том, что в будущем это направление будет иметь немаловажное значение для космологии.

3. Наблюдательный подход к проблемам эволюции в астрофизике, остающийся сущностью третьего направления моих исследований, в последние десятилетия быстро распространился на всю астрофизику. Он глубоко проник в каждую область нашей науки. Быть может, не будет преувеличением сказать, что отчасти благодаря этому подходу и благодаря упорной работе целого поколения астрофизиков наука астрофизика в настоящее время превратилась в эволюционную дисциплину.

Теперь каждый согласится с тем, что проблема происхождения и эволюции небесных тел не может быть решена с помощью одной или нескольких умозрительных моделей. Сфера применения описанного выше более правильного подхода будет возрастать и расширяться с новыми открытиями в астрофизике.

Мое скептическое отношение к существующим формальным теоретическим моделям, предложенным до сих пор, подкрепляется тем, что почти все новые интересные открытия, которыми были чрезвычайно насыщены последние три десятилетия, оказались большими сюрпризами для таких моделей. Попытки приспособить эти модели к новым наблюдательным открытиям обычно не очень помогают. Рассмотрим два случая полной неудачи умозрительного подхода.

а) Многие теоретики убеждены, что они теперь имеют более или менее полную теорию звездной эволюции. В частности, сотни моделей были рассчитаны для ранних стадий эволюции. Однако теория оказалась полностью неспособной предсказать такое важное явление, как вспыхивающие звезды. Нет теперь сомнения в том, что большинство звезд после периода их формирования (стадия Т Тельца) проходят эту фазу эволюции. Это стало особенно ясно после исследований бюраканских астрономов, относящихся к проблеме численности вспыхивающих звезд в скоплениях и ассоциациях. Следовательно, одной из первых задач любой эволюционной теории должно быть объяснение особенностей процессов вспышек. Однако большинство моделей даже теперь пренебрегает этим требованием.

б) Положение дел еще хуже в случае проблемы фуоров (этот термин используется в СССР для звезд типа FU Ориона). Тот факт, что стадия фуора играет важную роль в жизни по крайней мере некоторых категорий

звезд, оказывается фатальным для многих умозрительных теорий. Но состояние дел еще серьезнее, чем это кажется с первого взгляда. В настоящее время представляется, что существует целая последовательность различных звезд, которые по своему фотометрическому поведению более или менее сходны с фуорами. Примером является звезда Р Лебеда, которая возгорелась почти четыре столетия назад. Хорошо известно, что в каждой спиральной или нерегулярной галактике имеется много сверхгигантов типа Р Лебеда. Следовательно, процессы возгорания звезд типа пре-РЛебеда очень важны для понимания эволюции сверхгигантов.

Нет сомнения в том, что наблюдательное изучение таких звезд и процессов даст интересный эмпирический материал для построения картины звездной эволюции.

Чтобы быть правильно понятым, я хотел бы добавить несколько слов к моей критике умозрительных теорий и моделей. Конечно, никто не может отрицать то место, которое модельный подход, так же как и умозрительное мышление, играет в науке. Первое из направлений, которому я посвятил свою деятельность (принцип инвариантности), много ближе к построению моделей, чем к эмпирическим исследованиям. Однако моя точка зрения состоит в том, что в конкретных случаях, обсужденных выше, построение моделей без должного учета обширного эмпирического материала, которым мы в настоящее время располагаем, вряд ли может дать хорошие результаты.

Природа хранит еще многие из своих тайн. Наша цель — раскрыть эти тайны. Естественно стараться делать это, наблюдая места, где они спрятаны. Вряд ли мы достигнем цели, занимаясь только чистым теоретизированием.

ԱՍՏՂԱՅԻՋԻԿԱՅԻ ԶԱՐԳԱՑՄԱՆ ՈՐՈՇ ՏԵԼԵԵՆՏՆԵՐԻ ՎԵՐԱԲԵՐՅԱԼ

Վ. Ա. ՀԱՄԲԱՐՁՈՒՄՅԱՆ

Շարադրված են հեղինակի կողմից ստացված գլխավոր արդյունքները հետևյալ բնագավառներում՝

1. Տեղափոխման տեսությունում կիրառվող ինվարիանտության սկզբունքները:
2. Աստղաֆիզիկայի հակադարձ խնդիրները:
3. Աստղերի ու գալակտիկաների ծագման և էվոլյուցիայի խնդիրների նկատմամբ էմպիրիկ մոտեցումը:

ON SOME TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF ASTROPHYSICS

V. A. AMBARTSUMIAN

Main results of the author on the following topics of astrophysics are discussed:

1. The invariance principles in the theory of radiative transfer.
2. The inverse problems of astrophysics.
3. The empirical approach to the problem of the origin and evolution of stars and galaxies.