

ДИФFUЗНЫЕ МЕЖЗВЕЗДНЫЕ ПОЛОСЫ КАК ПОГЛОЩЕНИЕ ЗАМОРОЖЕННЫМ ОРИЕНТИРОВАННЫМ ГАЗОМ

И.А.СИМОНИЯ

Поступила 12 сентября 2018

Принята к печати 12 декабря 2018

Рассматривается природа межзвездных полос поглощения. Предложен новый механизм их образования, в частности, резонансного поглощения люминесценции замороженной органики зернами идентичного химического состава. Рассматривается возможное явление межзвездного квазилинейчатого поглощения. Предложена концептуальная схема органического светофильтра. На основе предложенной теории идентифицирован ряд полос поглощения, приводятся результаты сравнительного анализа.

Ключевые слова: *межзвездное поглощение; замороженные углеводороды; ориентированный газ; люминесценция*

1. *Введение.* Проблема диффузных межзвездных полос (ДМП) остается неразрешенной в течение более чем 80 лет. В спектрах звезд различных спектральных типов, туманностей разных классов и стадиях эволюции, галактик, находящихся на различных удалениях, наблюдаются серии диффузных линий и полос поглощения неизвестной природы [1-4]. Указанные диффузные полосы поглощения с различными эквивалентными ширинами не поддаются стандартным методам идентификации. По-видимому, эти полосы не принадлежат к стандартным субстантам поглощения. Последние декады были посвящены открытиям и попыткам идентификации более 500 ДМП [5,6]. Успех в этом направлении был достигнут лишь частично и исследования ДМП продолжаются. Для выявления физических свойств и точного химического состава источников ДМП развивались различные методы. Рассматривались, в частности, полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) в качестве источников ДМП [7-9]. Учитывая структурную сложность молекул ПАУ и их распространенность во Вселенной, можно предположить, что полициклические ароматические углеводороды являются наиболее реальными кандидатами источников ДМП. В настоящее время продолжают рассматриваться как молекулярные, так и пылевые кандидаты источников ДМП. С учетом вышесказанного, здесь будет предложена новая гипотеза, объясняющая природу источников ДМП, включая некоторые их физические свойства и химический состав.

2. *Замороженные углеводородные частицы галактического пространства.* Комплексные молекулярные образования и пылевые частицы, содержащие ПАУ, демонстрируют характерные абсорбции в соответствующих областях спектра. Во многих случаях можно обнаружить определенное сходство или корреляцию со спектральными характеристиками ДМП, включая положения конкретных абсорбций и особенности их профилей. Вместе с тем, все еще не удалось достичь согласия в понимании природы особенностей источников ДМП. Определенные данные свидетельствуют в пользу молекулярных источников ДМП, а другие - указывают на пылевую природу этих межзвездных абсорбций. Эта противоречивая ситуация может рассматриваться как основное препятствие на пути к истине. Проблема ДМП может быть обусловлена непониманием структурных особенностей источников этих абсорбций, а не сложностью их химико-минералогического состава. Очевидно, что направление исследований, методы изучения ДМП должны быть расширены. Результаты исследований ПАУ, проведенных в прошлые декады, могут оказаться существенными в процессе формирования новых концептуальных представлений и во время сравнительного анализа лабораторных данных с результатами спектроскопических наблюдений соответствующих астрофизических объектов.

Учитывая вышеупомянутые аргументы, нами предлагается новая теоретическая модель источников ДМП и приводятся первичные результаты нашего сравнительного анализа.

Принимая во внимание распространенность ароматических и алифатических углеводородов во Вселенной, представляется уместным рассматривать источники ДМП как некоторое объединение или общность этих химических соединений. Предполагаем, что двухкомпонентная смесь будет отвечать всем спектральным характеристикам, особенностям, определяемым наблюдательными данными. Наиболее вероятной формой такого рода смеси может быть поликристаллическая структура с компонентами вещество "хозяин" - вещество "гость". Относительная узость и определенная изменчивость ДМП (от объекта к объекту) дает основание рассматривать поликристаллическую смесь в виде матриц *n*-алканов (вещество "хозяин") и ароматических молекул (вещество "гость"). Такого рода поликристаллические смеси называются матрицами Шпольского. В работах [10-12] были описаны основные физические свойства и химические особенности замороженных поликристаллических смесей - полициклических ароматических углеводородов, растворенных в *n*-алканах. В них указывалось, что: а) твердые растворы полициклических ароматических углеводородов и *n*-алканов (от пентана до гексана) при $T \leq 77.3$ К, которые характеризуются спектрами фотолуминесценции в виде серий узких эмиссионных линий. Замороженные *n*-алканы - матрицы фиксируют в собственной структуре ароматические молекулы - источники люминесценции. Ароматические молекулы в *n*-алканах

могут рассматриваться как замороженный разреженный "ориентированный газ". Замораживание *n*-алканов в виде кристаллической массы (микрорекристаллов) является условием формирования дискретных спектров люминесценции; б) замороженные смеси полициклических ароматических углеводородов и *n*-алканов в виде снегоподобных микрорекристаллов имеют характерные спектры люминесценции и поглощения в форме серии узких линий; в) спектры люминесценции сложных кристаллических органических веществ имеют в определенных случаях аномальный характер в форме широких безструктурных полос. Такие спектры обычно относят к димерам.

Приведенные в пунктах а, б, в, результаты могут стимулировать понимание природы источников ДМП. В [13] матрицы Шпольского уже рассматривались в пределах проблемы ДМП, но для анализа возможных порфирино-подобных структур межзвездной пыли. В [14-16] была развита модель замороженных углеводородных частиц (ЗУЧ) в виде ледяных микрозерен, состоящих из полициклических ароматических углеводородов, растворенных в *n*-алканах. Такие ЗУЧ - зерна представляют собой поликристаллическую смесь - типичную матрицу Шпольского (ароматические кольца, фиксированные в алифатических цепочках). Каждая ЗУЧ характеризуется соответствующим размером, формой, массой и цветом. В поле ультрафиолетового излучения ЗУЧ люминесцируют в виде серии узких эмиссий, расположенных в диапазоне 4000-8000 Å. Для ультрафиолетового излучения *n*-алканы прозрачны и следовательно, люминогенами являются ароматические углеводороды. На основе модели ЗУЧ в [14] была объяснена природа некоторых неизвестных эмиссий туманностей.

2.1. Замороженные углеводородные частицы - новый подход.

Мы представляем здесь следующее новое предположение. Замороженные углеводородные частицы нано- и микро размеров, состоящие из ароматических молекул, фиксированных в *n*-алканах, повсеместно распространены в галактическом пространстве, поглощая электромагнитное излучение от звезд и других объектов в соответствующих диапазонах спектра. При этом каждая ЗУЧ может состоять из сотен молекул (несколько ароматических молекул, встроенных в *n*-алканы). В экстремальных случаях (очень холодная и разреженная среда $T < 50$ K) ЗУЧ могут представлять собой в большей степени сгущенные нано ядра, чем объемные твердые ледяные зерна. Принимая во внимание заместительный и молекулярно-дисперсный характер матриц Шпольского [17], мы предполагаем, что замороженные углеводородные частицы галактического пространства могут иметь следующие две главные формы: 1) молекулярно-дисперсная форма; 2) заместительная форма. Первая форма ледяных частиц представляет собой ароматические молекулы, фиксированные в целых алкановых матрицах. Вторая форма ледяных частиц представляет собой ароматические

молекулы (углеводородные кольца), встроенные или замещенные в алифатические цепи. В галактическом пространстве могут быть распространены обе формы ЗУЧ.

Учитывая распространенность ПАУ во Вселенной, можно предположить, что ЗУЧ, будучи химически схожими и несколько различными по физическим свойствам, могут присутствовать как в малых телах солнечной системы, так и в межзвездной среде. При этом кометные ЗУЧ могут быть химически сложнее и массивнее, а ЗУЧ межзвездной среды меньше в размерах и структурно проще. Несмотря на физические различия, ЗУЧ различных областей галактики могут иметь весьма схожий химический состав. Обе формы ЗУЧ - молекулярно дисперсная и замещающая будут подвергаться действию внешних сил и различным взаимодействиям в галактическом пространстве. Гравитация и лучевое давление, продуцированные звездами, будут влиять на положение ЗУЧ в околозвездном пространстве. Эти внешние факторы могут привести к определенным нерегулярностям в распределении ЗУЧ в галактике. Вероятно, что околозвездные пространства могут быть богатыми относительно теплыми и плотными облаками или оболочками ЗУЧ. Вместе с тем, межзвездная среда может характеризоваться наличием более холодных и разреженных комплексов ЗУЧ. Околозвездные ЗУЧ характеризуются температурой 15-20 К, а межзвездные ЗУЧ - температурой менее 10 К. Пространственное распределение ЗУЧ будет косвенно зависеть от процессов формирования замороженных частиц, включая процессы конденсации, стыковки составных компонентов сгущения. Облака ЗУЧ со структурой индивидуальных ледяных частиц в виде матриц Шпольского могут формироваться в результате следующих процессов: а) охлаждения околозвездной материи, содержащей ароматические и алифатические молекулы; б) объединения ароматических и алифатических молекул в результате действия электрических сил; в) роста размеров органических частиц в результате сгущения. Потоки истекающей звездной материи могут быть различными по составу, пространственной форме и плотности. В целом, процесс истечения является постоянным или переменным во времени. Звезды и околозвездные пространства можно рассматривать как своего рода "фабрики" ЗУЧ. Звезды можно рассматривать как генераторы материи, а околозвездную среду - как охладители истекающего вещества.

Образование диффузных межзвездных полос целесообразно рассматривать в пределах следующей физической системы: звезда - зона активного вещества - промежуточная зона - земной наблюдатель. Формирование ДМП является результатом пространственных физических явлений в околозвездной и межзвездной средах. Регистрируемость ДМП является функцией наблюдаемости соответствующих звездных объектов, при этом наблюдаемость во многом

будет зависеть от магнитуды звезд, плотности пылевой (ледяной) материи в околозвездном пространстве и других факторов. В данной физической системе звезда рассматривается как источник молекулярной материи, включая углеводороды. При этом зона активного вещества представляет собой тот пространственный участок околозвездной среды, в котором происходит конденсация, коагуляция газовых молекул в твердые нано- и микро частицы ЗУЧ. В этой зоне происходит объединение, стыковка ароматических и алифатических углеводородов в аналоги матриц Шпольского с последующим сгущением и уплотнением. Затем следует промежуточная зона, характеризующаяся наличием облаков ЗУЧ в условиях весьма низких температур. Облака холодных ЗУЧ разрежены - пространственная концентрация ледяных частиц весьма мала. Промежуточная зона собственно и является межзвездной средой. Еще одним элементом данной системы является приемное устройство земного базирования (спектрограф + ССД) - фиксатор сложных пространственных процессов. Четыре элемента этой системы расположены вдоль одной прямой - на луче зрения. Относительно горячая околозвездная материя в виде молекулярных комплексов и одиночных молекул, окружающая центр системы, может продуцироваться самой центральной звездой. На большем удалении, с понижением температуры среды, эта молекулярная материя сгущается в замороженные частицы различных форм, размеров и химического состава. Процессы, происходящие при взаимодействии излучения с веществом в околозвездном пространстве и межзвездной среде, фиксируются земным наблюдателем в виде конкретных спектральных или фотометрических особенностей. Основными процессами, определяющими возникновение ДМП, могут быть процессы люминесценции и поглощения сложными органическими молекулами. В частности, ультрафиолетовое излучение от центральной звезды возбуждает люминесценцию околозвездных молекулярных комплексов, в том числе люминесценцию ПАУ или относительно теплых ЗУЧ. Люминесцентные эмиссии ПАУ и их комплексов будут характеризоваться соответствующими спектральными свойствами - положением эмиссии, эквивалентными ширинами и профилями. При этом, спектры люминесценции этих молекулярных комплексов будут представлять собой серии относительно узких эмиссионных линий и полос в диапазоне 4000-8000 Å. Такие эмиссии могут располагаться также в УФ диапазоне в пределах 3600-3900 Å и в ИК диапазоне в пределах 1-30 мкм. Холодные ЗУЧ нано- и микро размеров, располагающиеся в промежуточной зоне (в межзвездной среде между звездой и наблюдателем), обладающей аналогичным или схожим химическим составом с люминесцирующими околозвездными органическими молекулярными комплексами, будут поглощать люминесцентное излучение этих околозвездных молекулярных комплексов. При этом поглощение может иметь резонансный характер, т.е.

ЗУЧ межзвездной среды будут поглощать на длинах волн люминесцентных эмиссий околос звездных органических молекулярных комплексов. Данный процесс обусловит для земного наблюдателя появление в спектрах звезд и других галактических объектов серии узких диффузных линий и полос поглощения. Появление ДМП в спектрах галактических объектов может быть результатом двухступенчатого процесса: люминесценции органических околос звездных молекул и поглощения этих же люминесцентных эмиссий схожими по химическому составу органическими межзвездными молекулами, находящимися в конденсированной фазе в условиях высокого разрежения и экстремально низких температур среды. Учитывая особенности процесса формирования лабораторных квазилинейчатых спектров фотолюминесценции матриц Шпольского, мы предлагаем называть вышеописанный двухступенчатый процесс межзвездным квазилинейчатым поглощением. Диффузные межзвездные линии и полосы поглощения, регистрируемые в спектрах звезд, могут являться результатом межзвездного квазилинейчатого поглощения. Вообще говоря, квазилинейчатое поглощение может быть универсальным физическим явлением, возникающим в системах: источник излучения - люминесцирующий молекулярный газ - замороженный поглощающий газ - наблюдатель. При этом все четыре компонента этой системы должны лежать на одной прямой. Главным условием возникновения такого явления будет идентичность или сходство химических составов люминесцирующих и поглощающих молекулярных комплексов. Необходимо подчеркнуть, что здесь имеется в виду не поглощение ультрафиолетового возбуждающего излучения, а поглощение квазилинейчатых люминесцентных эмиссий видимого диапазона, испускаемых комплексными органическими молекулами. Иными словами, ультрафиолетовое излучение возбуждает квазилинейчатую люминесценцию комплексных молекул, а лежащие на том же луче зрения замороженные молекулярные комплексы аналогичного химического состава поглощают эту люминесценцию, формируя квазилинейчатые спектры поглощения. Возвращаясь к межзвездному квазилинейчатому поглощению и учитывая тот факт, что ароматические молекулы в n-алканах представляют собой замороженный, разреженный "ориентированный газ", можно предположить, что появление ДМП в спектрах галактических объектов обуславливается поглощением замороженным, разреженным "ориентированным газом" - ароматическим компонентом ЗУЧ.

В процессе поглощения необходимо отметить роль "ориентированного газа" в виде углеводородных колец в замороженных в алифатическую матрицу. Беспрепятственно прошедшее сквозь n-алканы электромагнитное излучение поглощается "ориентированным газом" - углеводородными кольцами, степень свободы которых во многом определена структурами алифатических матриц.

Таким образом, именно ароматическая компонента ЗУЧ ответственна за процесс поглощения. Фактически имеет место двойственная природа ЗУЧ. В гравитационных полях ЗУЧ будут обыкновенными, твердыми ледяными частицами, тогда как в электромагнитных полях ЗУЧ будут представлять собой поглощающие излучение молекулярные микрокомплексы - замороженный квазигаз. Замороженные в прошлом (в момент формирования ЗУЧ) ароматические молекулы, по-видимому и определяют степень противоречий в понимании природы ДМП, когда астроспектроскопия и астрополяриметрия объясняют ДМП поглощением газа и поглощением пыли, соответственно. Фактически ЗУЧ являются субстантами двойственной природы. В случае комплексных молекул зависимость интенсивности люминесценции на частоте от коэффициента поглощения света той же частоты ν , описывается соотношением Степанова [18]. Это соотношение является аналогом закона излучения Кирхгофа и отражает свойства, общие для теплового излучения и люминесценции

$$\frac{W_{\nu}^{\text{lum}}}{K_{\nu}} = d(T) \nu^3 e^{-h\nu/kT}, \quad (1)$$

где

$$d(T) = \frac{8\pi h n^* c^*(T)}{c^2 n c(T)} e^{-h\nu/kT}, \quad (2)$$

при этом W_{lum} - интенсивность люминесценции; K_{ν} - коэффициент поглощения света; $c(T)$ и $c^*(T)$ - нормированные множители, учитывающие различие статистических весов основного и возбужденного уровней; n^* - число молекул в возбужденном состоянии; n - общее число молекул системы; $h\nu$ - энергия кванта; kT - тепловая энергия. Это соотношение показывает, что для комплексных молекул интенсивность люминесценции недвусмысленно связана с коэффициентом поглощения. При этом положения линии люминесценции не совпадают с положением линии поглощения и всегда слегка сдвинуты в сторону длинных волн, а профили линии люминесценции и поглощения слегка отличаются друг от друга. Данное соотношение справедливо только для комплексных молекул, не содержащих не люминесцирующие примеси, а также для жидкостей и газов. Однако, учитывая, что ароматический компонент ЗУЧ является замороженным "ориентированным газом", можно справедливо предположить, что межзвездное квазилинейчатое поглощение подчиняется соотношению Степанова. При этом интенсивность люминесценции и коэффициент его поглощения будут описываться указанным соотношением.

Выпесказанное может относиться также и к случаю протошланетарных туманностей, спектры которых характеризуются присутствием серий неиден-

тифицированных эмиссий. В спектре протопланетарной туманности RR (Red Rectangle, HD 44179) выявлены многочисленные неидентифицированные эмиссии [19]. Было показано, что спектральное положение этих неидентифицированных эмиссий хорошо коррелируют с положением ДМП [20]. На наш взгляд, это пример того, как люминесценция комплексной органики околосредней материи поглощается холодными галактическими ЗУЧ. Принимая во внимание природу возникновения квазилинейчатых комплексов, в особенности уменьшения ширины квазилинии с понижением температуры среды, можно для случая астрофизических объектов заключить: астрофизические объекты при наличии в их спектрах весьма узких и близко расположенных ДМП могут характеризоваться экстремально низкими температурами среды или располагаться на значительных и даже внесгалактических расстояниях от земного наблюдателя. Узость диффузных линий поглощения может в определенных случаях указывать на сверхнизкие температуры материи объектов, или на их весьма значительные удаления.

3. *ДМП как поглощение замороженным газом - результаты сравнительного анализа.* Для подтверждения предложенной концептуальной теории и модели галактических ЗУЧ был проведен сравнительный анализ квазилинейчатых спектров фотолюминесценции поликристаллических смесей в виде ароматических углеводородов, замороженных в *n*-алканах с диффузными межзвездными полосами поглощения. Сравнивались спектральные положения лабораторных фотолюминесцентных эмиссий ароматических молекул в *n*-алканах со спектральными положениями ДМП. Спектры фотолюминесценции ароматических молекул в *n*-алканах при температуре $T > 5$ К, опубликованные в [10-12,17,22-26] и др. работах, использовались нами в качестве основного источника лабораторных данных. Уверенно детектированные ДМП для различных галактических объектов, опубликованные в литературе, использовались в качестве наблюдательного материала [5,27-31]. Точность нашего сравнительного анализа составляла ± 1 Å.

Результаты сравнительного анализа приведены в табл.1. В первой колонке таблицы - длина волны соответствующей ДМП; во второй - длина волны фотолюминесцентных эмиссий поликристаллических смесей; в третьей - состав конкретной поликристаллической смеси. Нами было показано, что спектральные положения более 140 ДМП хорошо коррелируют со спектральными положениями фотолюминесцентных эмиссий соответствующих углеводородов в *n*-алканах. Количество в 140 ДМП отвечает около 28% от всего наблюдательного материала (из общего числа ДМП), опубликованного в вышеупомянутых работах.

4. *Дискуссия.* В современной астрофизике проблема ДМП остается

Таблица 1

**СРАВНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ ДМП И
ФОТОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ЭМИССИЙ ЗАМОРОЖЕННЫХ
АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В n-АЛКАНАХ**

ДМП			Эмиссии матрицы		
1	2	3	1	2	3
4371.73	4371.80	Indeno[1,2,3-cd]Pyrene, n-hexane	5297.97	5298.10	Cyclopenta[c,d]pyrene, n-hexane
4428.19	4428.10	Indeno[1,2,3-cd]Pyrene, n-hexane	5450.52	5450.00	Cyclopentacene, n-hexane
4430.00	4430.00	Perylene, n-undecane	4959.63	4960.00	9,10-anthraquinone, n-hexane
4659.82	4660.00	Perylene, n-hexane	4963.88	4963.60	9,10-anthraquinone, n-hexane
4699.21	4699.50	Perylene, n-undecane	4961.95	4962.50	Phenanthrene, n-hexane-cyclohexane
4734.79	4735.00	Perylene, n-hexane	5130.36	5130.00	Phenanthrene, heptylam solution
4762.61	4762.57	Perylene, n-undecane	4965.22	4965.00	2-methyl,1,4-naphthoquinone
4780.29	4780.00	Perylene, n-undecane	5262.48	5263.00	2-methyl,1,4-naphthoquinone
4817.64	4817.00	Perylene, n-hexane	5420.01	5420.00	2-methyl,1,4-naphthoquinone
4875.96	4880.00	Perylene, tetrahydrofuran	5547.48	5548.00	2-methyl,1,4-naphthoquinone
4985.00	4985.00	Perylene, ethanol	4969.14	4968.55	Benzo[a]naphthofluorene, n-hexane
4680.20	4680.00	Anthraquinone, n-heptane	5849.81	5850.00	Benzo[a]naphthofluorene, n-hexane
4957.02	4957.50	Anthraquinone, n-heptane	4980.00	4980.00	1,9-Phenanthroline, n-hexane
5257.47	5257.50	Anthraquinone, n-heptane	5133.14	5133.60	1,9-Phenanthroline, n-hexane
5285.62	5285.00	Anthraquinone, n-heptane	4987.42	4988.00	AnthraBenzoTiofen, n-undecan
4683.03	4683.18	Xantione, n-hexane	5433.50	5434.00	AnthraBenzoTiofen, n-undecan
6611.06	6611.13	Xantione, n-hexane	5092.09	5092.43	Naphthalene, n-nonane
6631.69	6631.29	Xantione, n-hexane	5109.70	5109.86	Naphthalene, n-nonane
6728.55	6728.57	Xantione, n-hexane	5137.07	5137.69	Naphthalene, n-nonane
6792.39	6792.09	Xantione, n-hexane	5508.12	5508.12	Naphthalene, stretched polyethylene
6818.31	6818.49	Xantione, n-hexane	5170.49	5170.00	Naphthalene, cyclohexane
7159.47	7159.22	Xantione, n-hexane	5413.52	5413.00	Naphthalene, cyclohexane
7405.50	7405.21	Xantione, n-hexane	5527.55	5527.00	Naphthalene, cyclohexane
4727.16	4727.20	Coronene, n-hexane	5560.60	5560.00	Naphthalene, heptylam solution
5245.57	5246.00	Coronene, butylbromide	5840.69	5841.00	Naphthalene, cyclohexane
5470.85	5471.00	Coronene, butylbromide	5914.79	5915.41	Naphthalene, stretched polyethylene
5530.07	5530.00	Coronene, butylbromide	5975.75	5976.00	Triannulene, cyclohexane
5544.97	5545.00	Coronene, tetrahydrofuran	5176.04	5176.00	Tetracene, n-nonane
5954.25	5954.00	Coronene, n-hexane	5370.99	5370.86	Tetracene, naphthalene
6084.94	6085.00	Coronene, n-hexane	5524.98	5524.86	Tetracene, naphthalene
4727.06	4727.00	Benzo[a]Fluoranthene, n-hexane	5775.90	5776.01	Tetracene, naphthalene
4881.06	4880.90	Benzo[a]Fluoranthene, n-hexane	5785.04	5785.09	Tetracene, naphthalene
4966.01	4966.30	Benzo[a]Fluoranthene, n-hexane	5854.54	5854.12	Tetracene, naphthalene
4761.67	4761.80	Cyclopenta[c,d]pyrene, n-hexane	5541.84	5542.00	1,2-5,6-Dibenzanthracene, n-hexane
4881.83	4881.80	Cyclopenta[c,d]pyrene, n-hexane	5580.82	5581.00	1,2-5,6-Dibenzanthracene, n-hexane
4982.14	4982.70	Cyclopenta[c,d]pyrene, n-hexane			
5217.85	5217.20	Cyclopenta[c,d]pyrene, n-hexane			

Таблица 1 (окончание)

1	2	3	1	2	3
5942.30	5942.00	1,2-5,6-Dibenzanthracene, n-hexane	5985.38	5985.00	Tetraphene, n-hexane
5600.60	5600.00	Fluorantene, n-hexane	6414.67	6415.00	Tetraphene, n-hexane
5952.38	5952.00	Fluorantene, n-hexane	6594.36	6595.00	Tetraphene, n-hexane
6019.23	6019.00	Fluorantene, n-octane	6637.82	6638.00	Tetraphene, n-hexane
6020.37	6020.00	Fluorantene, n-hexane solution			
6082.23	6082.00	Fluorantene, n-hexane	5985.38	5985.00	Anthracelenadiazol, n-octane
			6027.68	6028.00	Anthracelenadiazol, n-octane
5718.50	5718.50	1,2-Benzopyrene, n-hexane	6159.80	6160.00	Anthracelenadiazol, n-octane
5753.47	5754.00	1,2-Benzopyrene, n-hexane	6210.63	6210.00	Anthracelenadiazol, n-octane
5760.53	5760.00	1,2-Benzopyrene, n-hexane	6280.35	6280.00	Anthracelenadiazol, n-octane
5781.00	5781.00	1,2-Benzopyrene, n-hexane	6379.39	6380.00	Anthracelenadiazol, n-octane
5806.62	5807.00	1,2-Benzopyrene, n-hexane	6439.62	6440.00	Anthracelenadiazol, n-octane
5844.19	5844.00	1,2-Benzopyrene, n-hexane			
5989.46	5990.00	1,2-Benzopyrene, n-hexane	6124.43	6125.00	3,4-6,7-dibenzopyrene, n-octane
6030.49	6031.00	1,2-Benzopyrene, n-hexane	6252.43	6252.00	3,4-6,7-dibenzopyrene, n-octane
6102.43	6102.00	1,2-Benzopyrene, n-hexane	6362.44	6363.00	3,4-6,7-dibenzopyrene, n-octane
6128.20	6128.00	1,2-Benzopyrene, n-hexane	6410.35	6410.00	3,4-6,7-dibenzopyrene, n-octane
6142.09	6142.00	1,2-Benzopyrene, n-hexane	6699.36	6699.00	3,4-6,7-dibenzopyrene, n-octane
6170.81	6171.00	1,2-Benzopyrene, n-hexane	6839.05	6939.00	3,4-6,7-dibenzopyrene, n-octane
6185.98	6186.00	1,2-Benzopyrene, n-hexane			
6234.11	6234.00	1,2-Benzopyrene, n-hexane	6151.14	6151.00	1,12-benzperylene, n-hexane
6283.84	6284.00	1,2-Benzopyrene, n-hexane	6161.96	6162.00	1,12-benzperylene, n-hexane
6350.70	6351.00	1,2-Benzopyrene, n-hexane	6275.58	6276.00	1,12-benzperylene, n-hexane
6445.53	6446.00	1,2-Benzopyrene, n-hexane	6418.61	6419.00	1,12-benzperylene, n-hexane
6573.04	6573.00	1,2-Benzopyrene, n-hexane	6460.44	6460.00	1,12-benzperylene, n-hexane
6607.07	6607.00	1,2-Benzopyrene, n-hexane	6497.82	6498.00	1,12-benzperylene, n-hexane
			6498.01	6498.00	1,12-benzperylene, n-hexane
			6534.54	6543.00	1,12-benzperylene, n-hexane
5893.54	5894.00	Pyrene, n-hexane			
5995.54	6000.00	Pyrene, n-hexane solution	6520.70	6521.00	chlorophyll, n-undecane
6027.39	6027.00	Pyrene, n-hexane	6926.58	6926.00	chlorophyll, n-undecane
6413.17	6413.00	Pyrene, n-hexane			
6439.34	6439.00	Pyrene, n-hexane	6765.38	6765.00	Zn-phthalocyanine, paraffin oil
6639.42	6640.00	Pyrene, n-hexane solution	6803.28	6803.00	Zn-phthalocyanine, paraffin oil
6684.91	6685.00	Pyrene, n-hexane	7495.02	7495.00	Zn-phthalocyanine, paraffin oil
7084.65	7085.00	Pyrene, n-hexane			
7085.10	7085.00	Pyrene, n-hexane	6939.00	6939.00	Phthalocyanine, n-octane
5910.57	5910.00	Tetraphene, n-hexane	7651.37	7652.00	Phthalocyanine, n-octane
5934.60	5935.00	Tetraphene, n-hexane	7152.25	7152.00	3,4-benzopyrene, n-octane
5975.58	5975.00	Tetraphene, n-hexane	7553.77	7554.00	3,4-benzopyrene, n-octane

весьма актуальной. Собрано значительное количество наблюдательного материала, предложены разнообразные модели источников ДМП. Появление диффузных межзвездных полос поглощения в спектрах галактических объектов объясняется присутствием в межзвездной среде молекул различного химического состава или пылевой материи. Заметное внимание уделяется полициклическим ароматическим углеводородам, возможно, ответственным за возникновение

ДМП. Дискуссия о природе ДМП продолжается.

Нами предложен новый механизм возникновения ДМП и модель галактических ЗУЧ. Ультрафиолетовое излучение центральной звезды возбуждает квазилинейчатую фотолюминесценцию сложных органических молекулярных комплексов околозвездной среды. Облака холодных ЗУЧ, находящиеся в межзвездной среде между околозвездной органической материей и наблюдателем, поглощают эмиссии квазилинейчатой фотолюминесценции (в диапазоне 4000-8000 Å) околозвездной органики. При этом возникают серии узких линий и полос поглощения - процесс межзвездного квазилинейчатого поглощения в том же диапазоне (4000-8000 Å). Таким образом и образуются ДМП, фиксируемые в спектрах различных астрофизических объектов.

Замороженные углеводородные частицы нано- и микро размеров химически весьма схожи или даже идентичны по составу околозвездным комплексам углеводородов, представляя собой поликристаллическую смесь ароматических углеводородов и n-алканов. При этом структурно ароматические молекулы и n-алканы связаны силами Ван-дер-Ваальса и могут образовывать группы молекулярно-диспергированных комплексов или группы заместительных комплексов, в которых углеводородные кольца замещают структуру молекулы растворителя. Химически и структурно ЗУЧ являются матрицами Шпольского, в которых ароматические молекулы представляют собой замороженный ориентированный газ. Учитывая тот факт, что n-алканы прозрачны для УФ и видимого излучения, именно ароматические молекулы ответственны за поглощение люминесцентных эмиссий, а микрокристаллические структуры n-алканов, в которых зафиксированы ароматические молекулы, - ответственны за общий квазилинейчатый характер поглощения. Химическое сходство околозвездной и межзвездной органики в виде комплексов углеводородов, а также различие температур околозвездных и межзвездных углеводородов, во многом определяют характер процесса межзвездного квазилинейчатого поглощения. Это явление определяется соотношением Степанова, связывающим мощность люминесценции и коэффициент поглощения сложных молекулярных комплексов. В первую очередь, это соотношение справедливо для веществ, находящихся в газовом состоянии. Ароматические молекулы ЗУЧ представляют собой замороженный газ, поглощающий люминесцентные эмиссии своих химических аналогов.

В целом, процесс межзвездного квазилинейчатого поглощения является объемным или пространственно сложным. При этом каждая органическая молекула или замороженная углеводородная частица, лежащая на луче зрения (между звездой и наблюдателем), участвует в испускании нетепловых фотонов или в их абсорбции. Учитывая галактические расстояния, можно качественно оценить количество межзвездной и околозвездной органической материи, участвующей в этом объемном процессе. Земной наблюдатель лишь фиксирует

результат процесса - появление ДМП.

Для подтверждения предложенной теории, мы провели сравнительный анализ спектральных положений, уверенно измеренных ДМП и квазилинейчатых фотолуминесцентных эмиссий матриц Шпольского. Полученный результат дает повод к оптимизму, хотя заметное число ДМП осталось неидентифицированным. Опубликованные лабораторные данные по фотолуминесценции матриц Шпольского для температур $T \leq 77$ К крайне нерегулярны и разрозненны. Это осложнило сравнительный анализ профилей соответствующих эмиссий (абсорбций) лабораторных и астрофизических спектров. Мы приводим здесь фрагмент спектра звезды HD 27022 [21] и спектра фотолуминесценции нафтацена [17]. Диффузная межзвездная полоса 4430, 4430.12 Å коррелирует по профилю с фотолуминесцентной эмиссией нафтацена (в n-нонанае) 4431.5, 4434.5 Å. Как видим, соблюдается соотношение Степанова, когда профили люминесценции и абсорбции несколько различны и сдвинуты друг относительно друга (рис.1, 2).

Для отождествления, неподдающихся стандартным методам идентификации,

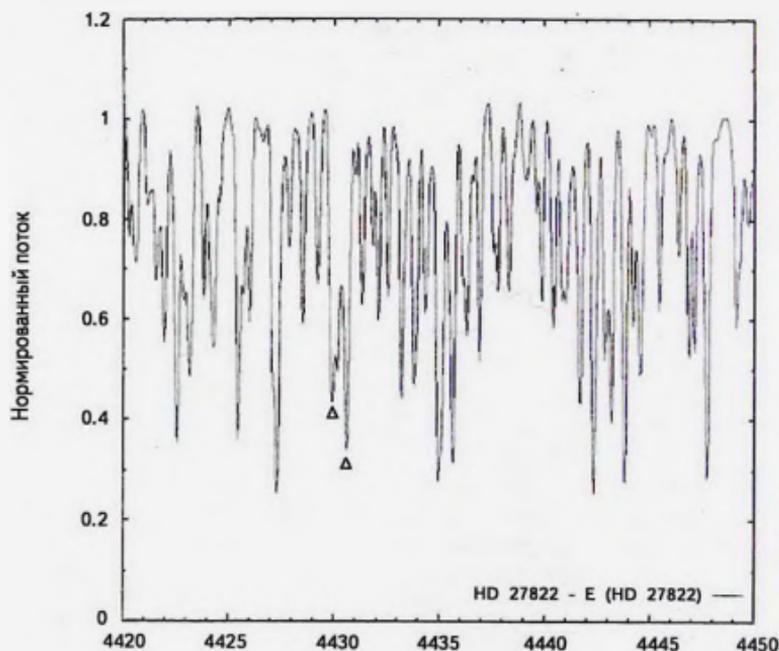


Рис.1. Межзвездные полосы поглощения в спектре HD 27822.

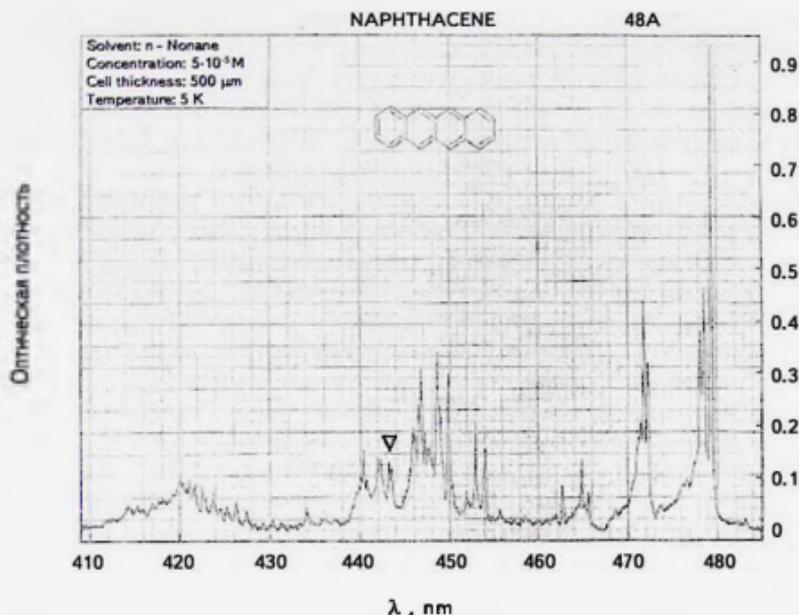


Рис.2. Фотолуминесцентные эмиссии замороженной смеси нафтацена и n-нонана.

эмиссии в спектрах протяженных астрофизических объектов, к примеру, таких туманностей, как Красный прямоугольник и Красный квадрат, можно попытаться применить новый светофильтр комплексного органического состава. Мы предлагаем светофильтр со следующими параметрами: 1) замороженная плоскопараллельная пластина определенного диаметра и толщины не более 1 мм; 2) химический состав пластины - матрица Шпольского (ароматические молекулы, замороженные в n-алканах); 3) пластина находится в условиях постоянного охлаждения до соответствующих температур. Такой светофильтр должен устанавливаться на выходе спектрографа до приемника излучения. Обеспечение постоянного охлаждения светофильтра, очевидно, является отдельной инженерно-технической задачей. Светофильтр может быть выполнен в виде криогенной мини-камеры с оптическими окнами входа и выхода. Меняя ароматический компонент светофильтра, можно получить комплект сложных светофильтров, пригодных для идентификации неизвестных эмиссий, источниками которых являются органические комплексы (сложные молекулы), линии и полосы которых располагаются в оптическом и инфракрасном диапазонах. Такие фильтры можно определить как органические матричные

фильтры. Работа таких светофильтров проявится фактически в замещении неидентифицированных эмиссий в спектрах астрофизических объектов искусственными абсорбциями. Иными словами, наблюдатель будет получать спектры, в которых, на местах неизвестных эмиссий, будут располагаться полосы поглощения, обусловленные светофильтрами вполне известного химического состава.

Остаются актуальными ряд физических аспектов и проблем, требующих соответствующего разрешения. К примеру, особенности роста ледяных зерен в облачном образовании. Динамика роста и разрушения ледяных зерен во многом будет зависеть от внешних факторов, включая температуру и плотность облачной среды. Процесс роста замороженных углеводородных частиц может характеризоваться дополнительными особенностями, выявление которых потребует по-видимому лабораторного моделирования. Проблема межзвездного поглощения (ослабления) вблизи 2200 \AA также актуальна. Принято считать, что за это поглощение ответственны мелкодисперсные углеродные частицы, распространенные в межзвездной среде. Наш анализ, опубликованных в [17] лабораторных спектров фотолюминесценции сложных углеводородов, выявил интересный факт. В частности, при $T=77 \text{ K}$ оптическая плотность смесей 7-метилбенз[α]антрацена, 8-метилбенз[α]антрацена, бензо[j]флуорантена и п-октана заметно возрастает вблизи 2200 \AA . Это может означать, что замороженные углеводородные частицы аналогичного химического состава, распространенные в межзвездной среде, могут вносить свой вклад в указанное межзвездное поглощение. Исследования оптического поглощения галактическими ледяными частицами другого химического состава продолжаются [32].

5. Заключение. Предложен новый механизм возникновения ДМП - процесс межзвездного квазилинейчатого поглощения. Основным субстантом этого процесса являются галактические ЗУЧ, модель которых также предложена. Проведенный сравнительный анализ показал, что более 140 ДМП могут возникать в результате поглощения квазилинейчатых эмиссий ароматическими молекулами галактических ЗУЧ. Вместе с тем заметная часть ДМП осталась неидентифицированной. Необходимо отметить, что коротковолновая область видимого спектра лучше поддавалась идентификации, а длинноволновая, напротив - значительно хуже. Также нужно признать, что лабораторный материал по квазилинейчатым спектрам люминесценции матриц Шпольского в виде опубликованных статей и каталогов, разрознен и несколько беден в длинноволновой области оптического спектра. Целесообразно проведение лабораторных модельных экспериментов с целью воспроизведения возможного процесса межзвездного квазилинейчатого поглощения. Понимая сложность проблемы и необходимость дальнейших исследований, надеемся, что полученные

результаты могут сыграть положительную роль в окончательном решении проблемы ДМП.

Автор благодарен анонимному рецензенту за ценные замечания.

Факультет естественных наук и инженерии государственного университета им. Ильи, Грузия, e-mail: irakli_simonia@iliauni.edu.ge

DIFFUSE INTERSTELLAR BANDS AS ABSORPTION BY FROZEN ORIENTED GAS

I.A.SIMONIA

The nature of diffuse interstellar bands is considered. New mechanism of diffuse interstellar absorption phenomena is proposed. In particular the resonance absorption of frozen organic luminescence by the identical organic grains is discussed. The possible phenomenon of interstellar quasilinear absorption is considered. The conceptual scheme of organic optical filter is proposed. On bases of proposed theory the certain quantity of diffuse bands has been identified. Results of the comparative analysis are presented.

Keywords: *interstellar absorption: frozen hydrocarbons: oriented gas: luminescence*

ЛИТЕРАТУРА

1. *M.L.Heger*, Lick Observatory Bulletin, **10**, 146, 1922.
2. *J.Krelowski*, AN, **310**, 255, 1989.
3. *G.H.Herbig*, Ann. Rev. Astron. Astrophys., **33**, 19, 1995.
4. *T.A.Snow*, In: The Diffuse Interstellar Bands, Eds. A.G.G.M.Tielens & T.P.Snow, APSSL, Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, **202**, 379, 1995.
5. *P.J.Sarre*, JMoSp, **238**, 1, 2006.
6. *T-W.Lan, B.Ménard, G.Zhu*, Mon. Not. Roy. Astron. Soc., **452**, 3629, 2015.
7. *F.Salama, L.Allamandola*, In: The First Symposium on the Infrared Cirrus and Diffuse Interstellar Clouds, Eds. R.M.Cutri, W.B.Latter, ASP Conf. Ser., **58**, 279, 1994.
8. *P.Ehrenfreund*, Bull. Amer. Astron. Soc., **31**, 880, 1999.

9. *F.Salama, G.A.Galazutdinov, J.Krelowski et al.*, *Astrophys. J.*, **728**, 154, 2011.
10. *E.Shpolskii*, *UFN*, **68**, 51, 1959.
11. *E.Shpolskii*, *UFN*, **71**, 215, 1960.
12. *E.Shpolskii*, *UFN*, **77**, 321, 1962.
13. *F.M.Jonson*, *Spectrochimica Acta Part A*, **65**, 1154, 2006.
14. *I.A.Simonia*, *Astrophysics*, **47**, 530, 2004.
15. *I.A.Simonia*, *Ast. Let.*, **30**, 863, 2004.
16. *I.Simonia*, *Astron. J.*, **141**, 56, 2011.
17. *L.A.Nakhimovsky, M.Lamotte, Jousset-Dubein*, *Handbook of Low Temperature Electronic Spectra of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons*, Elsevier, 1989.
18. *B.I.Stepanov, V.P.Gribkovskii*, *Theory of Luminescence*, Iliffe Books Ltd, London, 1968.
19. *H. Van Winckel, M.Cohen, T.R.Gull*, *Astron. Astrophys.*, **390**, 147, 2002.
20. *P.J.Sarre*, *Nature*, **351**, 356, 1991.
21. <http://dib.uchicago.edu/public/>.
22. *R.I.Personov, E.I.Ai'Shits, L.A.Bykovskaya*, *Opt. Commun.*, **6**, 169, 1972.
23. *T.N.Bolotnikova, T.M.Naumova, V.I.Savchenkov et al.*, *Appl. Spectr.*, **32**, 498, 1980.
24. *L.F.Utkina, R.N.Akhobadze, T.A.Teplitskaya*, *Bull. of the Acad. Sci. Georgian SSR*, **83**, 54, 1976.
25. *A.Ghauch, J.Rima, C.Fadchingeo et al.*, *Talanta*, **51**, 807, 2000.
26. *G.F.Kirkbright, C.G. De Lima*, *Chem. Phys. Let.*, **37**, 165, 1976.
27. *L.M.Hobbs, D.G.York, T.P.Snow et al.*, *Astrophys. J.*, **680**, 1256, 2008.
28. *L.M.Hobbs, D.G.York, J.A.Thorburn et al.*, *Astrophys. J.*, **705**, 32, 2009.
29. *P.Jenniskens, F.-X.Desert*, *Astron. Astrophys. Suppl.*, **106**, 39, 1994.
30. *G.Galazutdinov, W.Stachowska, F.Musaev et al.*, *Astron. Astrophys.*, **396**, 987, 2002.
31. *T.Weselak, M.Schmidt, J.Krelowski*, *Astron. Astrophys. Suppl.*, **142**, 239, 2000.
32. *A.G.Yeghikyan*, In: *Astronomical Surveys and Big Data*, Eds. A.M.Mickaelian, A.Lawrence, T.Yu.Magakian, *ASP Conf. Series*, **505**, 144, 2016.