

ПЕРВООТКРЫВАТЕЛЬ РОЛИ РИДБЕРГОВСКОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ДАЛЬНОМ КОСМОСЕ

(К 90-летию академика Н.С. КАРДАШЕВА)

Авакян С.В.¹, Баранова Л.А.², Ковалёнок В.В.³, Савиных В.П.⁴

¹ *Всероссийский научный центр Государственный оптический институт им. С.И.Вавилова,
Россия, Санкт-Петербург,*

² *Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Россия, Санкт-Петербург,*

³ *Федерация космонавтики России, Москва*

⁴ *Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК) и РАН,
Россия, Москва,*

E-mail: l.baranova@mail.ioffe.ru

Аннотация. Резонансное мировое признание экспериментального обнаружения в 1964 году в СССР усилиями астрономов ФИАН и ГАО РАН микроволнового потока от объектов дальнего космоса обязано пионерским расчётам Н.С. Кардашева с привлечением ридберговских переходов в излучении рекомбинационных радиолиний.

В докладе, благодаря этому прорыву, на основе анализа ранее полученных нами результатов в области физики солнечно - погодно-климатических и биосферных связей с учётом вклада микроволнового излучения земной ионосферы, развивается оригинальная супрамолекулярная физика космического пространства. В космологии предложен супрамолекулярный подход к микроволновой энергетике межзвёздных (межпланетных) молекулярных облаков. Введён новый термин для дальних космических полётов на базе энергетике космического пространства – *квантовый движитель*: устройство для преобразования энергии среды в работу по перемещению транспортного средства.

Обсуждаются энергетика и возможности использования недавно впервые введённого индуцированного компонента реликтового излучения в работе перспективных квантовых движителей при дальних космических перелётах, а также концепция выбора направления перелёта космического аппарата с квантовым движителем с применением бортового лазера, задающего дополнительный «мазерный эффект» в поле реликтового микроволнового излучения и под воздействием внешнего микроволнового источника.

Ключевые слова: *микроволновое излучение межзвёздных/межпланетных молекулярных облаков, реликтовое излучение, вынужденное излучение, квантовый движитель*

Введение. Среди Научных открытий XX века, зарегистрированных в Советском Союзе, резонансное мировое признание получило экспериментальное обнаружение в 1964 году усилиями астрономов ФИАН и ГАО РАН микроволнового потока от объектов дальнего космоса [1]. Мы в феврале 2006 г. плодотворно взаимодействовали с российским автором [1] – Р.Л. Сороченко и использовали эти результаты в данном докладе. Прогноз наличия и возможности таких наблюдений

впервые были представлены Н.С. Кардашевым в [2] на основе расчётов с привлечением ридберговских переходов в излучении рекомбинационных радиолиний.

В докладе приведены первые результаты исследования роли ридберговских состояний в формировании микроволновых потоков в реликтовом излучении Вселенной и в мазерном эффекте в космосе [3-5]. Эти работы выполнены в рамках Модели межзвёздных молекулярных облаков Бюраканской астрофизической обсерватории имени В.А. Амбарцумяна НАН Республики Армения [6], с преобладанием H_2 , для которых характерен диапазон плотности газа порядка $\sim 10^2 - 10^4 \text{ см}^{-3}$. Основным источником ионизации во внутренних частях облака при этом являются космические лучи, которые ионизируют атомы и молекулы водорода с образованием молекулярного иона H_3^+ , инициирующего цепочку ион-молекулярных реакций с образованием простых гидридов (вода, аммиак, метан). Очевидно, можно полагать в первом приближении, что состав *межпланетных* молекулярных облаков аналогичен, а плотность даже больше.

Статья А. Егикяна, написанная в Бюраканской обсерватории, полностью соответствовала подходам, развитым в исследованиях [7-10] по Ридберговским полиатомным молекулам, включая H_3 и H_3O , NH_4 , CH_5 , на основе оптических экспериментов группы Нобелевского лауреата Г. Герцберга [7] и теоретических работ с участием Нобелевского лауреата С. Ароша [8, 9]. Эти результаты использованы в [10], стр. 457, для обоснования возможности генерации Ридберговских молекул через промежуточный захват электрона, нейтрализующего заряд присоединённого протона уже через 10^{-12} с. При этом само ридберговское возбуждение нейтрального комплекса сохраняется очень долго – вплоть до 10 секунд [11], стр. 281. Присоединение протона связывается с высокой величиной сродства к протону у всех названных выше простых гидридов: 7,1 эВ, 8,8 эВ, 5,3 эВ, соответственно, для молекул H_2O , NH_3 , CH_4 , а также водорода H_2 , 4,4 эВ. Следует обратить внимание на то, что основной процесс, предложенный в [10], основан на оптических экспериментах и анализе их результатов, выполненных как раз для перечисленных молекул H_2 и трёх гидридов [7].

Получены следующие результаты в области космологии и возможностей межпланетных перелётов на основе оригинальных работ по физике солнечно-земных (погодно-климатических и биосферных) связей:

- о необходимости рассмотрения индуцированного (вынужденного) микроволнового реликтового излучения в рамках постулата А. Эйнштейна 1916 г. [3] и механизмов [8-10] для соседних ридберговских уровней;
- о возможностях дальних космических перелётов на основе микроволновой энергии Космоса в рамках использования квантового движителя, введённого в рассмотрение в [4], с квантовомеханическими оценками энергетики, достижимой для его тяги (вплоть до нескольких кН, и значительно больше).

Далее представлены результаты исследования *микроволновой* энергетики межзвёздных/межпланетных молекулярных облаков в интересах развития идеи о возможностях дальних космических перелётов, на основе использования оригинальной супрамолекулярной физики образования коллоидных надмолекулярных структур.

В [12] уже рассматривалось в едином ключе решение ряда задач современного естествознания под воздействием вариаций космофизических факторов именно с учётом роли микроволнового излучения в образовании надмолекулярных структур, в том числе, в периоды прихода потоков к Земле энергии от *взрыва Сверхновых*. Ниже представляются результаты исследований микроволновой энергетики межзвёздных молекулярных облаков в интересах развития идей о возможностях дальних космических перелётов на базе энергии космического пространства. Подобные идеи уже выдвигались в работах отечественных учёных (*В.С. Леонов, Э.Р. Смольяков и др.*), а также продекларированы при организации в США Института дальнего космоса [[https://www.limitlesspace.org](https://www.limitlessspace.org)] под руководством гендиректора *Кама Гаффаряна*. Проведённое нами рассмотрение основано на квантово-механических подходах фундаментальной физической оптики взаимодействия электромагнитного излучения с газами с учётом процессов из физики атомных столкновений [13, 14].

Для практических целей – космических перелётов на базе энергетики космического пространства, в [4] выдвинут *новый термин* – *квантовый движитель*: устройство для преобразования энергии среды *или работы источника энергии* в работу по перемещению транспортного средства. Мы включаем в это понятие, наравне с энергетикой, заложенной самой Природой в феномены окружающей нас среды: течение вод, в.т.ч. Мирового Океана, наличие ветра, особенности рельефа суши и т.п., *и микроволновую энергетику Вселенной*. Наша идея о таких движителях включает и их предлагаемое в отечественных разработках совмещение с электрическими ракетными двигателями (ЭРД), а также жидкостными ракетными двигателями (ЖРД). Имеется более десятка типов таких ЭРД (ионный, ионно-дуговой, электротермический (электронагревный), плазменный (с высокочастотной ионизацией – электромагнитный или электростатический, с объёмной ударной ионизацией), плазменно-ионный, магнитоплазодинамический, включая микроволновые [15].

Микроволновое описание межзвёздных молекулярных облаков. Именно учёт способности ридберговски возбуждённых состояний поглощать и испускать, в том числе в виде индуцированного (вынужденного) излучения, кванты микроволнового диапазона в разрешённых переходах с изменением орбитального квантового числа l на единицу, составляет главную особенность развиваемой в серии наших работ [13, 14. 16-19] «супрамолекулярной физики» образования надмолекулярных структур (коллоидов) в газовых и конденсированных средах. Это связано с резким ростом (до порядка величины) выхода стабильных комплексов – агрегатов, ассоциатов, кластеров, при увеличении орбитального момента ридберговского электрона при $l > 2$, что связывается с падением степени проникновения его орбиты в ионный

остов [16]. Присоединение протона связывается с высокой величиной сродства к протону у всех трёх молекул H_2O , NH_3 , CH_4 : 7,1 эВ, 8,8 эВ, 5,3 эВ, соответственно, для молекул воды, аммиака и метана, а также водорода, 4,4 эВ. Такой процесс предлагается рассматривать как первый акт при осуществлении широко известной водородной связи в химии и её приложениях [14]. Для «супрамолекулярной физики» (использована терминология Нобелевского лауреата Ж.-М. Лена [20] из супрамолекулярной химии) образования надмолекулярных структур в газовых и конденсированных средах предложено следующее определение [13]: *супрамолекулярная физика* – это физика за пределами молекулы (атомно-молекулярного остова), в эволюции которой в сложные формы (кластеры, ассоциаты) принимает участие электромагнитное излучение внешнего происхождения, поглощаемое ридберговски возбуждёнными составляющими молекулярного комплекса с увеличением его стабильности (за счёт возрастания величины орбитального момента ридберговского электрона). Фактически, в рамках супрамолекулярного подхода к явлениям в окружающей среде, включая атмосферу, биосферу и космическое пространство, оказывается возможным учитывать энергию кулоновского взаимодействия разноимённых зарядов, которая аккумулируется в образующемся полиатомном комплексе – Ридберговской молекуле, возбуждённой в высокое энергетическое электронное состояние, близкое к потенциалу ионизации, т.е. заведомо не менее, чем 10 эВ. По отношению к предмету исследования - физике межзвёздных облаков (основного наполнения Вселенной) это означает, что мы предлагаем рассматривать неучитываемый до сих пор резервуар энергии Космоса, возможно, тот, который, хотя бы частично относят в современной космологии к *скрытой («тёмной») энергии* [3-5].

Индукцированное микроволновое излучение межзвёздной среды. Как известно, в 1916 г. А. Эйнштейн предположил возникновение *индуцированного (вынужденного) излучения* в среде с установившимся тепловым равновесием, кванты которого имеют ту же частоту и летят в том же направлении, что имело проходящее внешнее излучение. Мы распространили это, вслед за [8, 10], на миллиметровое излучение применительно к супрамолекулярному подходу. Молекулярные ассоциаты в ридберговских состояниях очень чувствительны (из-за большой величины матричных элементов для электрических дипольных переходов между соседними ридберговскими уровнями) к воздействию внешнего микроволнового (начиная уже с миллиметрового диапазона) облучения, что и приводит к генерации индуцированного излучения. Поэтому возможно рассматривать аналог известного «мазерного эффекта» в космосе за счёт генерации вынужденного излучения с высоковозбуждённых уровней Ридберговских молекул, при прохождении квантов теплового равновесного излучения среды - фонового – реликтового излучения Вселенной. Здесь нами учитывается, что ещё в [21], с. 388, Д.А. Варшалович, автор текста рубрики, подчеркнул: *в космическом лазере накачка может быть связана «с поглощением излучения ближайшего источника (включая звезду), или с протеканием в космосе химических реакций* (выделено нами)». Действительно, в проблеме использования квантового движителя мы рассматриваем (при образовании полиатомных Ридберговских молекул в

высоковозбуждённых состояниях, вплоть до энергии, более 10 эВ) водородную связь молекул с большим сродством к протону, которая и является одним из вариантов химической связи [14].

В [17], также с учётом выводов [8, 10], предложено рассматривать возникновение индуцированного микроволнового излучения в дополнение к спонтанному излучению в электрических дипольных переходах с ридберговских состояний с максимумом интенсивности при изменениях из nl в состояние $n'=l, l'=l-1$ [22], с.183. Основываясь на результатах исследований [8], стр. 354, и [10], стр. 415, мы предположили, что и в случае межзвёздных молекулярных облаков при наличии теплового (реликтового), преимущественно мм-излучения, изотропное спонтанное излучение (обычно и регистрируемое астрофизиками во всём интервале спектра от радио до рентгена!) будет на порядок меньше, чем величина индуцированного микроволнового потока миллиметрового диапазона.

Это дало возможность обсудить использование впервые введённого в [4, 5] «мазерного эффекта» на индуцированном компоненте реликтового излучения Вселенной в перспективных квантовых движителях при дальних космических полётах. Для сокращения сроков полёта в межпланетных перелётах важно, что существующие разработки электрических ракетных двигателей (ЭРД) показывают возможности достижения исключительно высокого удельного импульса – до 100 км/с, при небольших размерах 0,1 м и массе порядка нескольких кг [15], стр. 446.

Энергетические предпосылки космических перелётов. Реликтовое излучение имеет наивысший энергетический максимум как раз в микроволновом диапазоне (от 6 до 0,6 мм). При этом во Вселенной на каждый атом приходится до одного миллиарда квантов реликтового излучения [23], с. 134, а энергия кванта с длиной волны 1 мм составляет более $\sim 0,001$ эВ. Следовательно, в сумме это способно дать до 10^6 эВ в энергетике потока индуцированных квантов микроволнового диапазона. Расчётные оценки показывают, что с учётом *средней плотности* 10^3 см^{-3} в среде передвижения КА, ему может передаваться не более $0,005 \text{ Дж/м}^3$ микроволновой энергии фонового (реликтового) излучения, при этом учитывается что минимальное количество атомов (в H_2O) - три. При наличии камеры захвата налетающего потока диаметром 2 м, суммарное значение поступающей энергии достигнет $0,15 \text{ Дж/м}$, что соответствует тяге в $0,15 \text{ Н}$. Полученная величина при сопоставлении с данными Таблицы «Характерные значения некоторых параметров ЭРД» [15], стр. 446, реально входит в диапазон вариаций табличных параметров тяги электромагнитных (« $0,0001 - 1,0 \text{ Н}$ ») и электростатических (« $0,001 - 1,0 \text{ Н}$ ») ЭРД, а для электротермического ЭРД (« $0,1 - 1,0 \text{ Н}$ ») лежит ближе к уровню нижнего значения. Но ведь возможна схема применения совместного функционирования электротермического РД и движителя на фоновом миллиметровом излучении, с оценкой совокупной тяги, исходя из величины известной плотности энергии реликтового излучения в его абсолютном энергетическом максимуме, равной $0,25 \text{ эВ/см}^3$ [21], с. 135, что соответствует $\sim 2200 \text{ К}$ (т.е. примерно середине диапазона («от 1000 до 5000 К») используемых в электротермическом РД (в том числе с ВЧ нагревом) температур при получении из

рабочего тела – газа, который затем, истекая из сопла, создаёт тягу [15], с. 451/2 и 446). Тогда в паре с электротермическим РД, имеющим удельный импульс до 100 км/с и более, это позволяет обеспечивать всю энергетику межпланетных перелётов за счёт совокупности тяги на рабочих телах, как реликтовом мм-излучении, так и плазме, создаваемой в камере ЭРД [15], с. 446. Здесь мы учитываем [15], стр. 447, что: «**Проектные исследования показали целесообразность применения ЭРД в ...качестве маршевых двигателей космических аппаратов, совершающих ...межпланетные перелёты**». Современные активные исследования по ЭРД представлены в [24].

В паре с ЭРД с высоким удельным импульсом, это позволяет обеспечивать всю энергетику межпланетных перелётов за счёт совокупности тяги на рабочих средах – реликтовом мм-излучении и плазме, создаваемой в камере ЭРД [15], с. 446, причём, по-видимому, достигим вклад 50% и более от работы самого квантового движителя, использующего именно космическое фоновое мм-излучение. Напомним, что оценочный расчёт сделан для величины *средней* плотности H_2 и гидридов, а для её верхнего - по [6] значения (10^4 см^{-3}), тяга квантового движителя на реликтовом микроволновом излучении может достигать 1,5 Н. Гипотетическое увеличение диаметра камеры захвата с 2-х метров в 10 и более раз естественно способно резко увеличить (в квадратичной зависимости) расчётные значения тяги для квантового движителя. Здесь реальным аналогом (с совершенно другим принципом действия) можно считать проект «Солнечный парус» [15], с. 366. В условиях космического вакуума конструкционные решения на таком пути вряд ли внесут какие-либо проблемы.

В [25], в статье А. Bond “Starships”, pp. 258-268, на стр. 265 были представлены варианты двигателя космического корабля, использующие в работе межзвёздный газ, в частности система «Межзвёздная ракета с забором окружающей среды» RAIR – Ram Augmented Instellar Rocket. Считалось, что возможно достичь скорости, составляющей 50% скорости света. Эффект подушки скоростного напора (ram-эффект) у больших плоских поверхностей космических аппаратов наблюдался неоднократно (Space Shuttle, на солнечных батареях станции “Мир” – с участием лётчика-космонавта М.Х. Манарова) и составлял по расчётным оценкам не менее 2000 по увеличению плотности среды на высоте полёта около 300 км [26], стр. 83 и 98. Благодаря этому эффекту в случае межзвёздных молекулярных облаков с вкладом возбуждения ридберговских состояний молекул H_2 , H_2O , NH_3 , CH_4 , в процессе протонного переноса для камеры захвата диаметром 2 м, полная величина поступающей из космической среды микроволновой фоновой энергии будет достигать $2000 \times 0,15$ Дж, что даст тягу в 300 Н. Для диаметра в 10 м тяга превысит **7 кН**. Если полагать, что реально величина скоростного напора может расти с увеличением скорости космического аппарата как минимум в линейной зависимости, то плотность газа в подушке скоростного напора (при выделенных нами, в конце раздела «**Индукцированное микроволновое излучение межзвёздной среды**», уже существующих разработках ЭРД с возможностями достижения

исключительно высокого удельного импульса – до 100 км/с [15], стр. 446), позволяет рассчитывать на величины тяги, приближающиеся к **100 кН**.

Следует отметить, что солнечный радиопоток всегда (на уровне орбиты Земли) сможет создавать для квантового движителя как минимум ещё на порядок большую (до 10^7 эВ) величину в энергетике потока индуцированных квантов микроволнового диапазона, чем само реликтовое (фоновое) излучение Вселенной. Это обстоятельство позволяет говорить о возможности квантового движителя, использующего именно солнечное мм-излучение, при космических перелётах от орбиты Земли не только к Марсу, но и к поясу астероидов и на большей части пути к Юпитеру с достижением, возможно, ещё до порядка величины большего проектного значения тяги!

Выбор направления перелёта космического аппарата с квантовым движителем возможно осуществлять с использованием бортового лазера, задающего дополнительный «мазерный эффект» в космической среде. Действительно, луч, излучаемый таким лазером, способен на своём пути в среде межзвёздных облаков ионизовать все высоковозбуждённые Ридберговские молекулы, в том числе и с малым сродством к протону (*их может быть большинство*). Далее следует обычный процесс нейтрализации с кулоновским захватом электрона в механизме диссоциативной рекомбинации с возбуждением многочисленных ридберговских состояний нейтральных молекул [27]. Следовательно, появляется увеличенное количество потенциальных вариантов вынужденного испускания в среде под действием реликтового микроволнового излучения. При этом продолжает работать и супрамолекулярный механизм «мазерного эффекта» с участием молекул с высоким сродством к протону: они вновь присоединяют протон, который нейтрализуется электроном с образованием Ридберговской молекулы, способной к индуцированному испусканию кванта микроволн под воздействием реликтового микроволнового излучения, либо внешнего микроволнового источника (от звезды (включая Солнце), от других галактических радиоисточников, включая те же магнетары, и т.д.). Наконец, предлагаемое, с учётом отечественных проектных разработок, совмещение квантовых движителей с электрическими двигательными установками, а также жидкостными ракетными двигателями, позволяет и их использовать для коррекции траектории в космических перелётах, в том числе, при передвижении «галсами».

Полученные нами результаты продолжают квантовомеханические исследования Н.С. Кардашева для дальнего космоса. Они основаны на оригинальной супрамолекулярной солнечно-земной физике с использованием процессов фундаментальной физической оптики и физики атомных столкновений [13, 14, 16-19] и входят в программу КОСПАРа TIGER [28-30]. В большой мере истоки этих работ связаны с результативным взаимодействием с ближайшим научным окружением Н.С. Кардашева – Г.С. Ивановым-Холодным, Т.В. Казачевской и А.Д. Даниловым, неоценимая помощь и поддержка которых на протяжении около пятидесяти лет способствовала

постановке такого направления в ГОИ с участием Отдела атомных столкновений ФТИ.

Авторы выражают глубокую благодарность за внимание и поддержку работы академикам Г.С. Голицыну, С.Г. Инге-Вечтомову, Р.М. Мартиросяну (иностранному члену РАН), Г.А. Попову, профессору А.З. Девдариани и д-ру Г. Шмидтке (ФРГ).

Литература

1. Сороченко Р.Л., Гордон М.А. Рекомбинационные радиолинии. Физика и астрономия. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2003. 392 с.
2. Кардашев Н.С. О возможности обнаружения линий атомарного водорода в радиодиапазоне. 1959, Астрон. Ж. 36, 813.-844.
3. Авакян С. В., Баранова Л.А. Использование результатов супрамолекулярной солнечно-земной физики при решении космологических проблем: 1. Экспериментальные предпосылки. 2. Модельное описание // Труды XXV Всероссийской ежегодной научной конференции «Солнечная и солнечно-земная физика» / Под ред. Степанова А.В., Наговицына Ю.А., 4-8 окт. 2021 г., ГАО РАН, Пулково, 2021. С. 23-30.
4. Авакян С.В., Баранова Л.А., Ковалёнок В.В., Савиных В.П. Микроволновое излучение межзвёздных молекулярных облаков как источник энергии (к проблеме космических перелётов) // Матер. 3-ей Общероссийской научно-практ. конф. «Чтения памяти ак. В.П. Глушко», ОВК музей истор. Косм. и ракет. техники им В.П. Глушко, ГМИ СПб., 6-7.10.21 г.
5. Avakyan S.V., Baranova L.A., Kovalenok V.V., Savinykh V.P. Using the results of supramolecular solar-terrestrial physics for the development of astronautics // RNAS RA, 2022 (в печ.).
6. Егикян АГ Об облучении пыли в молекулярных облаках. 1. Астрофизика. 2009. Т. 52. №2. С. 311- 324.
7. Dabrowski I., Herzberg G. Canad. J. Phys. 1980. 58, 1238-1249.
8. Haroche S, Raimond J.M. Adv. At. Mol. Phys. 1985. 20. 347- 411.
9. Haroche S, Raimond J.M. Exploring the quantum. Atoms, cavities, and photons, N.-Y.: Oxford Un. Press, 2006.
10. Gallas J.A. e.a. Adv. Atom. Molec. Phys. 1985. 20, 413-466.
11. Миронова Г.А. Конденсированное состояние вещества: от структурных единиц до живой материи. М.: Физфак МГУ. 2004. Т.1. 532 с.
12. Авакян С.В. Методология В.И. Вернадского, историометрия и гелиобиология А.Л. Чижевского, этногенез Л.Н. Гумилёва и современная солнечно-земная физика. Пленарный доклад //Межд. научная конф., посв. 150-лет. В.И. Вернадского «В.И. Вернадский и ноосфер. парадигма развития общества, науки, культуры, образования и экономики в XXI веке». / Под. ред. Субетто А.И., Шамахова В.А. 12-14.03.13, СПб.: Астерион, 2013, 2, С. 245–256.
13. Авакян С.В. Супрамолекулярная физика окружающей среды: климатические и биофизические эффекты // Вестник РАН. 2017. Т. 87. №5. С. 458-466.

14. *Avakyan S.V., Baranova L.A.* Molecular protonics and supramolecular chemistry, physics and biophysics. *Invited Lecture*. Book of Abst. of XXI Mendeleev Cong. Gen. app. chem, Symp. of UNESCO “Self-Assembly and Supramolecular Organization”. 2019. 6. 216. SPb.
15. Космонавтика. Энциклопедия. (Гл. ред. В.П. Глушко) М.: Изд-во «Советская энциклопедия».1985. 528 с.
16. *Авакян С. В., Баранова Л.А.* Влияние электромагнитного излучения окружающей среды на ассоциатообразование в высокоразбавленных водных растворах // Биофизика. 2019. Т. 64. № 1. С. 12-20.
17. *Авакян С.В., Баранова Л.А.* Микроволновые излучения в онкологии: О возможности торможения злокачественного митоза // Акт. вопр. био. физики и химии. 2020, 5. 4. 680 -688.
18. *Avakyan S.V., Baranova L.A.* The influence of microwave radiation from the geocosmos on the state of a living organism // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., 2021, 853, 012003.
19. *Авакян С.В., Баранова Л.А.* Микроволновые излучения окружающей среды в проблеме вирусных заболеваний // Вестник РАН. 2022. Т. 92. №4. С. 349-360.
20. *Lehn, J.-M.* Supramolecular chemistry. Concepts and Perspectives. VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, N.-Y., Basel, Cambridge, Tokio, 1995.
21. Физический Энциклопедический Словарь, М.: Большая Росс. энцик. 1995. 928 с.
22. *Смирнов Б.М.* Возбуждённые атомы. М.: Энергоиздат. 1982. 231 с.
23. Физическая энциклопедия, т. 3, М.:, Большая Росс. энцик, 1992, 672 с.
24. *Важенин Н.А., Обухов В.А., Плохих А.П., Попов Г.А.* Электрические ракетные двигатели космических аппаратов и их влияние на радиосистемы космической связи. М.: ФИЗМАТЛИТ. 2013. 432 с.
25. *Gatland K.* The illustrated Encyclopedia “SpaceTechnology. A comprehensive history of space exploration”. Salamander Books LTD, L.: 1982. 295 p.
26. *Авакян С.В., Евлашин Л.С., Коваленок В.В., Лазарев А.И., Титов В.Г.* Наблюдения полярных сияний из космоса. Ленинград. Гидрометеиздат. 1991. 229 с.
27. *Mitchell J. Brian A.* The dissociative recombination of molecular ions // Physics Reports, 1990, 186, 5, 215-248.
28. *Schmidtke G., Avakyan S.V., Berdermann J., Bothmer V., Cessateur G., Ciruolo, L., Didkovsky L., Dudok de Wit T. Eparvier, F.G., Gottwald A., Haberreiter M., Hammer R., Jacobi Ch., Jakowski N., Kretzschmar M., Lilensten J., Pfeifer M., Radicella S.M., Schafer R., Schmidt W., Solomon S.C., Thuillier G., Tobiska W.K., Wieman S., Woods T.N.* Where does the Thermospheric Ionospheric GEospheric Research (TIGER) Program go? // Adv. in Space Research. 2015. № 8. P. 1547–1577.
29. *Кондратьев К.Я., Крапивин В.Ф., Савиных В.П.* Перспективы развития цивилизации. Многомерный анализ. М.: Логос. 2003. 573 с.
30. *Авакян С.В., Девдариани А.З.* Роль ридберговских состояний и микроволнового излучения в тропосферной кластеризации паров воды // Оптический журнал. 2016. № 5. С. 76–78.