

Лазерный переход ${}^2P_{1/2} \rightarrow {}^2P_{3/2}$ атомарного иода и проблема поиска сигналов внеземных цивилизаций

Ю.Ф.Кутаев, С.К.Манкевич, О.Ю.Носач, Е.П.Орлов

Предложено осуществлять поиск сигналов внеземных цивилизаций (ВЦ) на длине волны $\lambda = 1.315$ мкм лазерного перехода ${}^2P_{1/2} \rightarrow {}^2P_{3/2}$ атомарного иода, которая может служить для этой цели естественным частотным репером. Перспективность поиска на данной длине волны обусловлена тем, что для нее созданы активные квантовые фильтры (АКФ) с квантовым пределом чувствительности, способные принимать лазерные сигналы, состоящие всего из нескольких фотонов, на фоне излучения исследуемой звезды. Кроме того, на $\lambda = 1.315$ мкм созданы мощные иодные лазеры с дифракционной расходимостью излучения, которые могут быть и у высокоразвитых ВЦ. Если ВЦ посылает в нашем направлении импульс лазерного излучения дифракционного качества с диаметром пучка 10 м, энергией 1 кДж и длительностью 10 нс, то приемником с АКФ, установленным на расположенном вне атмосферы десятиметровом оптическом телескопе, он может быть обнаружен на расстоянии до 300 св.лет, независимо от местоположения ВЦ на небесной сфере. Реализация проектов оптических телескопов диаметром 30 м увеличит дальность поиска до 2700 св.лет. Малое поглощение излучения с $\lambda = 1.315$ мкм в атмосфере Земли (ослабление сигнала составляет менее 20 %) дает возможность проводить поиск сигналов ВЦ, используя наземные телескопы, оснащенные адаптивными оптическими системами.

Ключевые слова: внеземные цивилизации, космическая связь, частотный репер, иодные лазеры, активный квантовый фильтр, квантовый предел чувствительности, дифракционная расходимость, оптический телескоп, адаптивные оптические системы.

1. Введение

В пионерских работах Коккони, Моррисона [1] и Дрейка [2] показана принципиальная возможность космической связи с внеземными цивилизациями (ВЦ) с помощью электромагнитных волн СВЧ диапазона. Шварц и Таунс в [3] показали, что с помощью лазеров ее в принципе можно осуществить и в оптическом диапазоне. Возможность поиска сигналов ВЦ в оптическом диапазоне обсуждалась также в [4–6]. Развитие науки и техники привело к появлению ряда теоретических и экспериментальных исследований в области поиска сигналов ВЦ [7–10], однако до настоящего времени достоверно зарегистрировать их не удалось.

Проблема поиска сигналов и установления связи с ВЦ сопряжена со следующими принципиальными техническими задачами, без решения которых она не может рассматриваться как реальная.

1. Выбор длин волн излучения, на которых целесообразно искать сигналы ВЦ.
2. Разработка методов выделения сигнала на фоне галактического шума и излучения звезды, вокруг которой вращается планета с предполагаемой внеземной цивилизацией.
3. Обеспечение чувствительности приема, достаточной для обнаружения сигнала ВЦ с вероятностью не менее 0.9.

4. Обеспечение необходимого энергетического уровня передаваемого сигнала.

В связи с первой задачей упомянем, что в [1] обоснована целесообразность поиска сигналов ВЦ на длине волны 21 см радиолинии водорода. Относительно же оптического диапазона авторы [3] отмечали, что «... вероятно, будет правильно изучить спектры звезд с высоким разрешением с целью поиска необычных узких линий, расположенных на необычных частотах или с переменной интенсивностью», и что «... выбор частоты, вероятно, будет диктоваться наличием подходящего вещества для мазера, обеспечивающего желаемую частоту».

Принципиальная возможность решения последних трех задач средствами лазерной техники проанализирована в [3], а также в [4–6]. Предполагалось, что в передающем устройстве будут использованы мощные лазеры с дифракционной расходимостью излучения, а в приемном устройстве для выделения полезного сигнала на фоне излучения звезды – узкополосные фильтры, практически не поглощающие излучение полезного сигнала и детекторы фотонов со 100 %-ным квантовым выходом для обеспечения максимальной возможной чувствительности приема. Приемные и передающие устройства с такими идеальными характеристиками долгое время реализовать не удавалось.

Цель предлагаемой работы – осветить новые возможности решения указанных задач, появившиеся в связи с развитием и совершенствованием лазерной техники. К настоящему времени разработано приемное устройство с узкополосным иодным активным квантовым фильтром (АКФ) на длине волны 1.315 мкм [11–23], обладающее практически идеальными характеристиками, и созданы мощные иодные лазеры с дифракционной расходимостью излучения [25–34].

Ю.Ф.Кутаев, С.К.Манкевич. ФГУП «НПО "Астрофизика"», Россия, 123424 Москва, Волоколамское ш., 95
О.Ю.Носач, Е.П.Орлов. Физический институт им.П.Н.Лебедева РАН, Россия, 117924 Москва, Ленинский просп., 53;
e-mail: orlov@sci.lebedev.ru.

Принципиальное отличие АКФ от пассивных оптических фильтров состоит в том, что выделение сигнала в нем осуществляется путем усиления узкой спектральной линии, содержащей сигнал. Как будет показано в данной работе, на основе приемного устройства с иодным АКФ можно успешно решить вторую и третью из упомянутых выше задач поиска сигналов ВЦ. Использование же в передающем устройстве мощных лазеров на атомарном иоде с дифракционной расходимостью излучения позволит решить четвертую из перечисленных задач, а следовательно, и первую – выбор длины волны излучения, на которой целесообразно искать сигналы ВЦ.

2. Характеристики иодного активного квантового фильтра

Экспериментальные исследования возможности приема слабых лазерных сигналов с использованием оптических квантовых усилителей были начаты в работах [35, 36]. Квантового предела чувствительности удалось достичь в иодном активном квантовом фильтре (АКФ) [11–23], созданном на основе фотодиссоционного квантового усилителя, который усиливает излучение с длиной волны $\lambda = 1.315$ мкм на лазерном переходе $^2P_{1/2} \rightarrow ^2P_{3/2}$ атомарного иода [24]. Возможность использования иодного фотодиссоционного оптического квантового усилителя в качестве АКФ для приема предельно слабых сигналов на фоне мощной засветки обусловлена следующими характерными особенностями активной среды иодных фотодиссоционных лазеров:

- жёстко фиксированная по положению в спектре линия усиления, имеющая на половине высоты максимума при коэффициенте усиления, близком к единице, ширину $\Delta\nu \approx 0.01$ см⁻¹ (при увеличении коэффициента усиления ширина линии уменьшается);
- показатель усиления активной среды лазера (свыше 0.1 см⁻¹) много больше ее показателя поглощения (менее 10^{-4} см⁻¹);
- реальное время жизни возбуждённых атомов иода сотни микросекунд;
- высокая оптическая однородность активной среды;
- отсутствие атомов иода на нижнем уровне лазерного перехода.

Эти особенности активной среды, основанные на результатах экспериментальных исследований, делают целесообразным использование иодного АКФ для поиска сигналов ВЦ. Рассмотрим более подробно следствия перечисленных особенностей и приведем подтверждающие их результаты экспериментальных исследований.

Показатель усиления, превышающий 0.1 см⁻¹, позволяет при длинах активной среды АКФ менее 1 м достигнуть коэффициента усиления сигнала $K > 10^6$ [14, 18], что во много раз больше значения, при котором квантовый шум АКФ превышает дробовой и тепловой шум фотодиодов и элементов электрических цепей. При этом экспериментально регистрируется лишь квантовый шум АКФ.

Благодаря быстрому опустошению нижнего энергетического уровня и практически полному отсутствию на нем атомов иода вследствие их быстрой рекомбинации в исходную молекулу шум АКФ минимален. В силу же достигнутой высокой оптической однородности активной среды АКФ сигнал, исходящий из точечного источ-

ника, после усиления в АКФ удается сфокусировать в пятно дифракционного размера [15], т. е. реализовать одномодовый режим усиления. В совокупности с тем, что показатель усиления активной среды АКФ много больше ее показателя поглощения, это позволяет достичь предельно высокой чувствительности, ограниченной квантовым пределом 1 фотон в моду за время $1/c\Delta\nu$, которое изменяется примерно от 9 до 12 нс при увеличении коэффициента усиления АКФ от 10^3 до 10^6 .

В [14, 18] при отношении сигнал/шум, равном единице, для сигналов с длительностью на полувысоте от максимума 40 нс экспериментально была достигнута чувствительность, равная примерно трем фотонам, что в три раза хуже квантового предела. Это обусловлено тем, что длительность сигнала не была согласована с шириной линии усиления АКФ, угол приема сигнала в [14] втрое превышал дифракционный угол АКФ, а в [18], при равенстве угла приема дифракционному углу, длительность импульса и время усреднения видеоусилителя не были согласованы с шириной линии усиления АКФ. Квантовый предел (1 фотон в моду) будет достигнут при дифракционном угле приема, если согласовать длительность импульса полезного сигнала с шириной линии усиления АКФ, т. е. сократить длительность импульса примерно до 10 нс, и использовать достаточно широкополосный видеоусилитель. Внешний вид АКФ показан на рис.1.

Высокий коэффициент усиления в сочетании с малой шириной линии усиления АКФ приводит к тому, что при приеме импульсов, согласованных по спектру с линией усиления, чувствительность приемного устройства с АКФ остается практически неизменной даже при наблюдении сигнала на фоне фактически любого мощного источника света естественного происхождения. Так, если прием сигнала вести на фоне диска Солнца, температура поверхности которого 6000 К, то чувствительность снизится всего на 12 % [16, 17].

Это утверждение было проверено в модельных экспериментах по приему сигнала на фоне плазменного источника излучения (источник Подмошенского ИСИ-1) с яркостной температурой 40000 К [18]. На рис.2, взятом из работы [18], представлена осциллограмма напряжения на выходе электронного усилителя с эффективным временем усреднения 90 нс, полученная при подаче на подключенный к нему фотодиод импульсного оптического сигнала с длительностью на полувысоте 40 нс на фоне

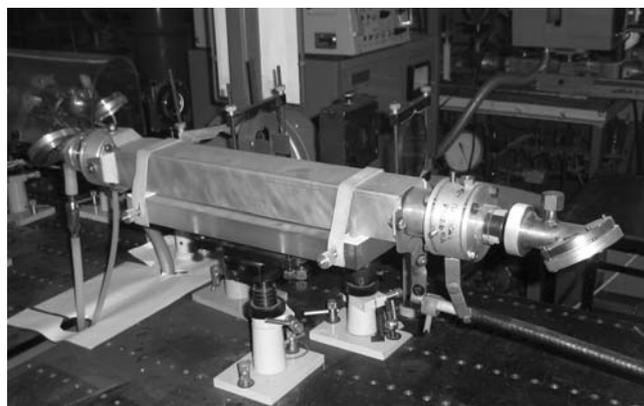


Рис.1. Внешний вид иодного АКФ, разработанного в Отделении квантовой радиофизики им. Н.Г.Басова Физического института им. П.Н.Лебедева РАН.

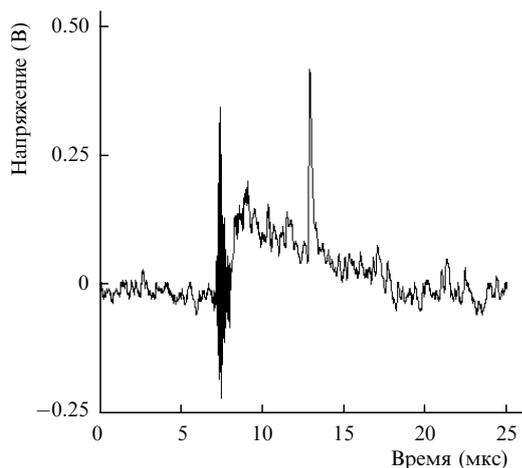


Рис.2. Оциллограмма напряжения на выходе электронного усилителя при регистрации фотодиодом импульсного оптического сигнала и излучения ИСИ-1 с выхода АКФ (эффективное время усреднения 90 нс). Импульс излучения ИСИ-1 начинается на 8-й микросекунде от начала отсчета времени, сразу после высокочастотной электрической наводки от импульса поджига, импульс полезного сигнала приходит на 13-й микросекунде.

импульса излучения ИСИ-1. В [18] при отношении сигнал/шум, равном единице, удалось достичь чувствительности приема, равной трем фотонам вне импульса ИСИ-1, и шести фотонам в пределах этого импульса. Таким образом, если ВЦ будет посылать нам сигналы с $\lambda = 1.315$ мкм, то использование иодного АКФ позволит решить задачу их эффективного выделения на фоне излучения звезды. Следовательно, можно утверждать, что иодный АКФ обеспечивает успешное решение в ИК диапазоне длин волн второй и третьей из указанных задач космической связи.

Способы приема и обработки слабых импульсных лазерных сигналов в системах, использующих иодный АКФ, апробированы и защищены патентами [13, 19–23].

3. Характеристики лазеров на атомарном иоде и оценка дальности связи с внеземными цивилизациями

Обсудим теперь возможность обеспечения достаточного для осуществления связи с ВЦ энергетического уровня передаваемого сигнала. Перечисленные в разд.2 характерные особенности активной среды и разработанные мощные источники накачки позволили к настоящему времени создать на $\lambda = 1.315$ мкм высокоэнергетические иодные фотодиссоционные лазеры с накачкой импульсными ксеноновыми лампами [25, 26], сильноточными открытыми электрическими разрядами [26–28] и излучением сильных ударных волн, инициированных взрывами взрывчатых веществ [29–31]. Созданы также мощные кислородно-иодные лазеры как импульсно-периодического, так и непрерывного действия [32].

Так, например, лазеры, накачиваемые импульсными ксеноновыми лампами и сильноточными открытыми электрическими разрядами, излучают импульсы наносекундной и субнаносекундной длительности с энергией до нескольких килоджоулей в одном пучке [33, 34], а лазеры, накачиваемые сильной ударной волной, инициированной взрывом взрывчатых веществ, излучают в импульсе длительностью несколько десятков микросекунд энергию мегаджоульного уровня [29, 31]. Мощность излуче-

ния кислородно-иодных лазеров непрерывного действия приблизилась к мегаваттному уровню [32]. Достигнутая высокая оптическая однородность активной газовой среды иодного лазера в совокупности с применением методов обращения волнового фронта света позволяет получать импульсы излучения дифракционного качества. Работы по совершенствованию этих лазеров ведутся в настоящее время в различных научных центрах мира.

Таким образом, на длине волны $\lambda = 1.315$ мкм разработаны лазерные приемные устройства с предельно высокой чувствительностью и мощные высокоэнергетические лазеры с дифракционной расходимостью генерируемого излучения. То есть реализована весьма эффективная пара передатчик – приемник, обладающая огромным динамическим диапазоном по генерируемой мощности и энергии импульсов и предельными характеристиками как по направленности генерируемого излучения, так и по чувствительности приема. Вдобавок приемное устройство этой пары может эффективно выделять принимаемый лазерный сигнал с длиной волны $\lambda = 1.315$ мкм на фоне излучения звезды практически без потерь чувствительности.

Все эти полезные с точки зрения возможности осуществления связи с ВЦ особенности активной среды лазеров на атомарном иоде обуславливают выбор длины волны $\lambda = 1.315$ мкм, отвечающей переходу ${}^2P_{1/2} \rightarrow {}^2P_{3/2}$ атомарного иода, в качестве возможного естественного частотного репера. Это решает первую из сформулированных во Введении задач в комплексе проблем связи с ВЦ в оптическом диапазоне, т. к. естественно предположить, что указанные соображения и подход к решению задач космической связи доступны также и представителям предполагаемой ВЦ, находящейся, возможно, даже на более высоком уровне развития, чем земная цивилизация. В этом случае они также должны прийти к выводу о перспективности использования линии перехода ${}^2P_{1/2} \rightarrow {}^2P_{3/2}$ атомарного иода для генерации сигналов, направленных в сторону других цивилизаций.

Оценим теперь, с какого расстояния можно надеяться принять сигналы ВЦ, используя в приемном устройстве иодный АКФ, и на какое расстояние можно передать сигнал, используя в передатчике иодный лазер. Пусть ВЦ планеты, обращающейся вокруг некоторой звезды по эллиптической орбите с большой полуосью a , излучает в сторону нашей солнечной системы лазерные импульсы с энергией E на длине волны $\lambda = 1.315$ мкм, соответствующей рабочей длине волны иодного АКФ, и пусть в нашей солнечной системе вне земной атмосферы расположено приемное устройство с иодным АКФ.

Принципиальная схема приемного устройства с АКФ представлена на рис.3. Оптический импульсный сигнал, посланный ВЦ, попадает на главное зеркало 1 приемного телескопа, наведенного на исследуемую звезду, и фокусируется в АКФ 2. После АКФ сигнал оптической системой 3 фокусируется на фотоприемник 4, электрический сигнал с которого поступает в электронный видеусилитель 5. С видеусилителя информация поступает в блок обработки 6.

Расстояние R между исследуемой звездой и приемным устройством составляет, как минимум, несколько десятков парсек ($1 \text{ пк} = 3.08 \times 10^{16} \text{ м}$, $1 \text{ св.год} = 9.46 \times 10^{15} \text{ м}$). При расстоянии более 25 пк (свыше 80 св. лет) и a примерно равном одной астрономической единице ($1 \text{ а.е.} = 1.5 \times 10^{11} \text{ м}$) наблюдаемый максимальный угол ϑ между

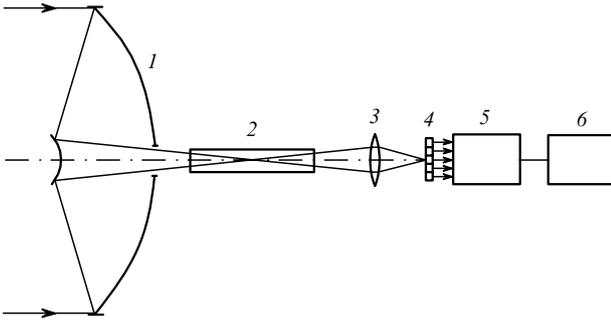


Рис.3. Принципиальная схема приемного устройства с АКФ: 1 – главное зеркало приемного телескопа; 2 – АКФ; 3 – фокусирующая линза; 4 – фотоприемник; 5 – видеоусилитель; 6 – блок обработки сигналов.

излучателем, расположенным вблизи планеты с предполагаемой ВЦ, и звездой равен a/R и составляет менее 0.04 секунды дуги, что практически исключает возможность оптического разрешения излучателя и звезды даже при десятиметровом диаметре главного зеркала приемного телескопа. Поэтому можно утверждать, что на фотоприемник поступает все излучение, попавшее в апертуру приемного телескопа как от излучателя ВЦ, так и от звезды. Следовательно, для выделения полезного сигнала на фоне излучения звезды необходима спектральная фильтрация, осуществляемая в АКФ.

Можно полагать, что вероятность возникновения жизни наиболее высока для одиночных звезд главной последовательности, которые принадлежат спектральным классам, находящимся между классами F5 и K5 [37]. Температура поверхности таких звезд не сильно отличается от температуры поверхности Солнца [38], а их излучение по своим яркостным свойствам близко к излучению Солнца. Поэтому при приеме сигналов на фоне излучения таких звезд чувствительность приемного устройства с иодным АКФ, как было отмечено выше, практически не изменится.

Основными элементами лазерного передающего устройства являются лазер и астрономический телескоп, играющий роль передающей антенны. Предположим, что передающее устройство ВЦ содержит те же основные элементы и вынесено за пределы атмосферы планеты с ВЦ. Если полная энергия E импульса, излучаемого передающим устройством, распределена по апертуре равномерно, то, как известно [39], угловая плотность энергии в направлении на центр дифракционной картины

$$I_0 = \frac{ES_t}{\lambda^2}, \quad (1)$$

где S_t – площадь апертуры передающего устройства, равная $\pi D_t^2/4$ в случае круглой апертуры с диаметром D_t . Если приемное устройство также вынесено за пределы земной атмосферы и находится в центре дифракционной картины, то принимаемая им энергия

$$E_r = \frac{I_0 S_r}{R^2} = \frac{S_t S_r}{\lambda^2 R^2} E, \quad (2)$$

где S_r – площадь апертуры приемного устройства (если она круглая, то $S_r = \pi D_r^2/4$); D_r – диаметр главного зеркала приемного телескопа; R – расстояние между передающим и приемным устройствами.

Рассмотрим вначале процесс приема сигнала от излучателя, посредством которого предполагаемая ВЦ ведет передачу в направлении нашей солнечной системы. Остановимся на моноимпульсном приеме, при котором каждый импульс должен быть обнаружен и принят; в этом случае частота следования импульсов для обнаружения значения не имеет. Если уровень развития ВЦ таков, что ей известны параметры лазерного перехода атомарного иода, то известна и оптимальная длительность импульса, принимаемого АКФ. Поэтому будем предполагать, что излучатель ВЦ посылает импульсы лазерного излучения дифракционного качества длительностью примерно 10 нс. Как уже упоминалось выше, импульсы такой длительности оказываются хорошо согласованными по спектру с линией усиления иодного АКФ при коэффициенте усиления $K \approx 10^6$.

Для того чтобы вероятность обнаружения сигнала превысила 0.9, энергия принимаемого сигнала должна быть втрое больше квантового шума АКФ, т. е. отношение сигнал/шум должно быть равно трем. Если эту энергию, представляющую собой при данном отношении сигнал/шум чувствительность приемного устройства, выразить в количестве фотонов и обозначить как N_3 , то из условия $E_r \geq \varepsilon N_3$, где $\varepsilon = hc/\lambda = 1.5 \times 10^{-19}$ Дж – энергия фотона с $\lambda = 1.315$ мкм, и формулы (2) получим условие, которому должно удовлетворять расстояние R , чтобы сигнал, посланный передающим устройством, был с указанной вероятностью зарегистрирован приемником:

$$R \leq \frac{\pi}{4} \left(\frac{E}{\varepsilon N_3} \right)^{1/2} \frac{D_t D_r}{\lambda}. \quad (3)$$

Как говорилось выше, в иодном АКФ удастся реализовать одномодовый режим усиления, при котором квантовый шум АКФ составляет один фотон в моду за время импульса ~ 10 нс [15]. Следовательно, $N_3 = 3$.

Положим $E = 1$ кДж, т. к. это освоенный уровень энергий однопучковых иодных лазеров наносекундного диапазона длительностей импульсов [33]. Диаметр приемного телескопа положим равным 10 м, поскольку наземные оптические телескопы с таким диаметром главного зеркала уже построены. Это КЕСК I и КЕСК II на Мауна Кеа (Гавайские острова, США) и ГТС в Ла Пальма (Канарские острова, Испания) [40, 41].

Пусть диаметр главного зеркала передающего телескопа ВЦ D_t равен также 10 м. Подставляя указанные значения N_3 , E , E_r и D_t в формулу (3) и учитывая, что она годится как для случая, когда сигналы посылает ВЦ, а мы их принимаем, так и для случая, когда сигналы посылает мы, а принимает их ВЦ, приходим к выводу, что на $\lambda = 1.315$ мкм можно посылать и принимать сигналы при расстоянии между цивилизациями до 300 св.лет (~ 90 пк).

Отметим, что в сфере такого радиуса имеется примерно 10^5 звезд [10, с. 49].

4. Обсуждение результатов

Из формулы (3) видно, что расстояние R увеличивается пропорционально произведению диаметров передающего и приемного телескопов и квадратному корню из энергии импульса. Отметим, что если чувствительность приемного устройства с иодным АКФ и расходимость излучения лазеров на атомарном иоде практически доведены до физического предела, то энергию излучаемых им-

пульсов, а также апертуру телескопов можно существенно увеличивать. Так, например, имеются проекты 30-метровых и даже 100-метровых оптических телескопов [42–44]. Если бы обе цивилизации использовали телескопы с $D_t = D_r = D = 30$ м, то достижимая дальность связи при энергии импульсов 1 кДж возросла бы до 2700 св.лет (~ 850 пк). В сфере с таким радиусом содержится уже около 10^8 звезд [10, с. 49] и более 200 обнаруженных к настоящему времени планет [45].

Приведенные оценки относятся к цивилизациям I типа по Кардашеву [46]. Сигналы от ВЦ, существенно превосходящих нашу цивилизацию по уровню развития и времени существования техногенной эры, по-видимому, можно принимать со значительно большими расстояний.

Теперь сравним энергии импульсов, необходимые для осуществления связи с предполагаемой ВЦ на длине волны лазерного перехода атомарного иода $\lambda = 1.315$ мкм и на длине волны радиолинии водорода $\lambda_H = 21$ см. Будем считать, что в обоих случаях спектры импульсов согласованы с частотными характеристиками приемных устройств, расстояние до ВЦ одно и то же и диаметры передающего и принимающего телескопов (радиотелескопов) одинаковы. Положим, что в первом случае диаметры главных зеркал телескопов $D = 10$ м, а во втором диаметры антенн радиотелескопов $D_A = 305$ м. Такой диаметр имеет антенна у самого крупного в мире радиотелескопа Аресибо [10]. Используя формулу (3) и учитывая, что в радиодиапазоне чувствительность определяется фоном с температурой $T = 10$ К [10], а в ИК диапазоне – квантовым шумом, получим при одинаковом отношении сигнал/шум отношение сравниваемых энергий

$$\frac{E}{E_H} = \frac{\varepsilon}{kT} \left(\frac{\lambda}{\lambda_H} \right)^2 \left(\frac{D_A}{D} \right)^4 \approx \frac{1}{27}. \quad (4)$$

Таким образом, при указанных условиях для связи с ВЦ на $\lambda = 1.315$ мкм требуется энергия импульсов, в 27 раз меньшая, чем на $\lambda_H = 21$ см. Если принять во внимание проекты оптических телескопов с $D = 30$ м, то это отношение становится равным $\sim 1/2000$. Надо сказать, что площадь радиотелескопа Аресибо (0.73×10^5 м²) достаточно близка к конструктивному пределу для наземных радиотелескопов. Для космических радиотелескопов, обращающихся по орбитам вокруг Земли, достижима площадь 10^5 м² [10], и при этом отношение E/E_H будет равно примерно $1/1000$. В любом случае мы видим, что для связи на длине волны 1.315 мкм требуются импульсы излучения с меньшей энергией, чем для связи на длине волны 21 см. Кроме того, уровень шума на $\lambda = 1.315$ мкм не зависит от ориентации оси приемного телескопа относительно направления на центр Галактики.

Отметим, что излучение с $\lambda = 1.315$ мкм практически не поглощается атмосферой Земли. Как показано в работе [47], показатель поглощения в приземном слое составляет $\sim 2 \times 10^{-7}$ см⁻¹. Он обусловлен главным образом парами воды, концентрация которых уменьшается с высотой. При прохождении всей толщи земной атмосферы потери энергии сигнала составят менее 20 %, в особенности, если приемник будет расположен высоко над уровнем моря.

Малое поглощение излучения с $\lambda = 1.315$ мкм в атмосфере Земли дает возможность вести поиск и передачу сигналов ВЦ практически без уменьшения дальности связи и с наземных оптических телескопов, оснащенных адаптивными оптическими системами, которые способны в

реальном времени компенсировать атмосферное размытие изображений. Например, на одном из 8.2-метровых телескопов VLT Европейской южной обсерватории на горе Параналь (Чили) размеры скорректированных изображений звезд на длине волны 1.2 мкм составили 0.04 секунды дуги, что практически совпадает с теоретическим пределом для телескопа данного диаметра [42]. Аналогичное разрешение достигнуто и на 10-метровых телескопах КЕСК I и КЕСК II [48].

Таким образом, с помощью предлагаемого приемного устройства, установленного на оснащенной адаптивной оптикой десятиметровом наземном астрономическом телескопе, уже в настоящее время можно осуществлять поиск сигналов ВЦ, находящихся на расстояниях до 240 св.лет (~ 75 пк). Связь с этими ВЦ может быть установлена с помощью передающего устройства, в котором в качестве излучателя используется лазер на атомарном иоде.

Если же будут реализованы проекты наземных телескопов с адаптивными оптическими системами и диаметром главного зеркала 30 м, то дальность связи с учетом поглощения в атмосфере составит 2200 св.лет (~ 700 пк).

5. Заключение

В данной работе предложено осуществлять поиск сигналов внеземных цивилизаций на длине волны $\lambda = 1.315$ мкм лазерного перехода ${}^2P_{1/2} \rightarrow {}^2P_{3/2}$ атомарного иода. Перспективность поиска на этой длине волны обосновывается тем, что к настоящему времени на ней реализована весьма эффективная пара передатчик – приемник, состоящая из мощного иодного лазера с дифракционной расходимостью излучения и активного квантового фильтра (ширина полосы менее 0.01 см⁻¹, коэффициент усиления $\sim 10^6$) с квантовым пределом чувствительности, созданного на базе иодного фотодиссоционного усилителя.

Приемное устройство с АКФ по существу представляет собой новое техническое средство для осуществления астрономических наблюдений окружающего Землю космического пространства с целью поиска сигналов ВЦ. Такое приемное устройство позволяет выделять слабые сигналы, состоящие всего из нескольких фотонов, на фоне излучения исследуемой звезды и принимать их.

Проведены оценки расстояния, на котором можно осуществить связь с ВЦ, аналогичной по уровню развития нашей цивилизации. Так, для импульсов длительностью 10 нс с энергией в каждом импульсе 1 кДж это расстояние при диаметре зеркал телескопов передающего и приемного устройств 10 м, вынесенных в космос, составляет 300 св.лет (~ 90 пк). Реализация проектов оптических телескопов диаметром 30 м позволит повысить дальность связи до 2700 св.лет (~ 850 пк).

Малое поглощение излучения с $\lambda = 1.315$ мкм в атмосфере Земли (2×10^{-7} см⁻¹), обусловленное, главным образом, парами воды, дает возможность вести поиск и передачу сигналов ВЦ и с наземных оптических телескопов, оснащенных адаптивными оптическими системами, с уменьшением дальности связи менее чем на 20 %. Так, с использованием десятиметровых телескопов, таких как КЕСК I, КЕСК II на Мауна Кеа (Гавайские острова, США) или ГТС в Ла Пальма (Канарские острова, Испания), можно обеспечить дальность связи между цивилизациями до 240 св.лет (~ 75 пк). При реализации проектов тридцатиметровых наземных телескопов, оснащенных

адаптивными оптическими системами, дальность связи увеличится до 2200 св.лет (~ 700 пк).

Таким образом, длина волны $\lambda = 1.315$ мкм может служить естественным частотным репером для поиска сигналов ВЦ и послышки сигналов в направлении звезд с подходящими для жизни планетными системами. На этой длине волны можно осуществлять острое нацеливание на выбранную звезду с предполагаемой ВЦ и проводить поиск сигналов ВЦ по всей небесной сфере независимо от направления на центр Галактики.

Поскольку на данный момент сигналы ВЦ на других длинах волн обнаружить не удалось, авторы считают необходимым и своевременным начать уже сейчас разработку и реализацию программы по изучению излучения сначала ближайших к нам звезд с подходящими для жизни планетными системами, а затем и более удаленных звезд с целью поиска и обнаружения сигналов ВЦ на длине волны $\lambda = 1.315$ мкм. Можно считать, что если в узком спектральном диапазоне на длине волны лазерного перехода атомарного иода будет зарегистрирован сигнал со спектральной яркостью, существенно большей, чем у естественного излучения звезды, то это будет свидетельствовать об обнаружении сигнала искусственного происхождения.

В заключение авторы выражают искреннюю благодарность В.В.Рагульскому за интерес к работе, плодотворные обсуждения и полезную информацию по проблеме поиска сигналов внеземных цивилизаций (SETI).

1. Коккони Дж., Моррисон Ф. В сб. *Межзвездная связь*. Под ред. А.Камерона (М.: Мир, 1965, с. 177–182); Cocconi G., Morrison P. *Nature*, **184**, 844 (1959).
2. Дрейк Ф.Д. В сб. *Межзвездная связь*. Под ред. А.Камерона (М.: Мир, 1965, с. 183–192); Drake F.D. *Sky and Telescopes*, **9**, 140 (1959).
3. Шварц Р., Таунс К. В сб. *Межзвездная связь*. Под ред. А.Камерона (М.: Мир, 1965, с. 247–256); Schwartz R.N., Townes C.H. *Nature*, **190**, 205 (1961).
4. Оливер Б. В сб. *Межзвездная связь*. Под ред. А.Камерона (М.: Мир, 1965, с. 229–246).
5. Оливер Б. В сб. *Межзвездная связь*. Под ред. А.Камерона (М.: Мир, 1965, с. 296–310).
6. *Внеземные цивилизации*. Под ред. С.А.Каплан (М.: Наука, 1969).
7. *Труды совещания «Внеземные цивилизации»* (Бюракан, 1964) (Ереван: изд. АН Арм.ССР, 1965).
8. Шварцман В.Ф. В сб. *Проблема внеземных цивилизаций* (М.: Наука, 1981).
9. Тартер Дж. В сб. *Проблема поиска жизни во Вселенной. Труды Таллинского симпозиума* (М.: Наука, 1986).
10. Гиндилис Л.М. *Поиск Внеземного Разума* (М.: Физматлит, 2004).
11. Нартов С.С., Носач О.Ю. *Препринт ФИАН № 21* (М., 1994).
12. Носач О.Ю., Орлов Е.П. *Препринт ФИАН № 20* (М., 1994).
13. Земсков Е.М., Казанский В.М., Кутаев Ю.Ф., Манкевич С.К., Носач О.Ю. Патент РФ № 2133533 от 30.09.1997 г. *Изобретения*, № 20, 480 (1999).
14. Кутаев Ю.Ф., Манкевич С.К., Носач О.Ю., Орлов Е.П. *Квантовая электроника*, **30** (9), 833 (2000).
15. Кутаев Ю.Ф., Манкевич С.К., Носач О.Ю., Орлов Е.П. *Квантовая электроника*, **31** (5), 419 (2001).
16. Кутаев Ю.Ф., Манкевич С.К., Носач О.Ю., Орлов Е.П. *Препринт ФИАН № 27* (М., 2001).
17. Kutaev Yu.F., Mankevich S.K., Nosach O.Yu., Orlov E.P. *J. Rus. Laser Research*, **23** (3), 235 (2002).
18. Кутаев Ю.Ф., Манкевич С.К., Носач О.Ю., Орлов Е.П. *Квантовая электроника*, **32** (4), 349 (2002).
19. Кутаев Ю.Ф., Манкевич С.К., Носач О.Ю., Орлов Е.П. Патент № 2152056 РФ от 23.06.1999 г. *Изобретения*, № 18, 434 (2000).
20. Кутаев Ю.Ф., Манкевич С.К., Носач О.Ю., Орлов Е.П. Патент № 2183841 РФ от 24.01.2001 г. *Изобретения*, № 17, 327 (2002).
21. Ахменеев А.Д., Кутаев Ю.Ф., Манкевич С.К., Носач О.Ю., Орлов Е.П., Хишев А.А. Патент № 2191406 РФ от 19.06.2001 г. *Изобретения*, № 29, 400 (2002).
22. Кутаев Ю.Ф., Манкевич С.К., Носач О.Ю., Орлов Е.П. Патент № 2249234 РФ от 08.08.2003 г. *Изобретения*, № 9, 1106 (2005).
23. Кутаев Ю.Ф., Манкевич С.К., Носач О.Ю., Орлов Е.П. Патент № 2248555 РФ от 20.10.2003 г. *Изобретения*, № 8, 490 (2005).
24. Зуев В.С., Катулин В.А., Носач В.Ю., Носач О.Ю. *ЖЭТФ*, **62** (5), 1673 (1972).
25. Бредерлов Г., Филл Э., Витте К. *Мощный иодный лазер* (М.: Энергоатомиздат, 1985).
26. Борович Б.Л., Зуев В.С., Катулин В.А., Михеев Л.Д., Николаев Ф.А., Носач В.Ю., Носач О.Ю., Розанов В.Б. *Сильноточные излучающие разряды и газовые лазеры с оптической накачкой* (Итоги науки и техники. Сер. Радиотехника: М.: ВИНТИ, 1978, т. 15).
27. Борович Б.Л., Зуев В.С., Катулин В.А., Носач В.Ю., Носач О.Ю., Старцев А.В., Стойлов Ю.Ю. *Квантовая электроника*, **2** (6), 1282 (1975).
28. Анненков В.И. и др. *Квантовая электроника*, **36**, 508 (2006).
29. Зуев В.С. *Препринт ФИАН № 161* (М., 1990).
30. Аржанов В.П. и др. *Квантовая электроника*, **19** (2), 135 (1992).
31. Зарубин П.В. *Квантовая электроника*, **32** (12), 1048 (2002).
32. Юрышев Н.И. *Квантовая электроника*, **23** (7), 583 (1996).
33. Baumhacker H., Brederlow G., Fill E., Volk R., Witkowski S., Witte K.J. *Czechoslovak J. Phys.*, **41** (3), 272 (1991), <http://www.springerlink.com/content/p31j5kq39747jkq7/>; *Appl. Phys. B*, **61** (4), 325 (1995), [http://adsabs.harvard.edu/abs/1995ApPhB..61..325B; Jungwirth K., Ullschmied J., Rohlena K., Rus B. www.pals.cas.cz/pals/doc/pb077\[3\].doc](http://adsabs.harvard.edu/abs/1995ApPhB..61..325B; Jungwirth K., Ullschmied J., Rohlena K., Rus B. www.pals.cas.cz/pals/doc/pb077[3].doc)
34. Кириллов Г.А., Кочемасов Г.Г. и др. [http://www.vniitf.ru/rig/konfer/5zst/sectsiya4/4-01.pdf](http://www.vniitf.ru/rig/konfer/5zst/sectsiya4/4-01.pdf;); Парафонова В. <http://nauka.relis.ru/05/0302/05302002.htm>.
35. Басов Н.Г., Грасюк А.З., Зубарев И.Г. *ЖПС*, **3** (1), 26 (1965).
36. Басов Н.Г., Грасюк А.З. и др. *Труды ФИАН*, **31**, 74 (1965).
37. Су-Шу Хуанг. В сб. *Межзвездная связь*. Под ред. А.Камерона (М.: Мир, 1965, с. 96–99).
38. *Физические величины. Справочник*. Под ред. И.С.Григорьева, Е.З.Мейлихова (М.: Энергоатомиздат, 1991, с. 1208).
39. Борн М., Вольф Э. *Основы оптики* (М.: Наука, 1970, с. 432).
40. <http://astrotelescope.narod.ru/tele3links.html>.
41. <http://galspace.spb.ru/index62-2.html>.
42. Терещихин В.Ю. *Современные оптические телескопы* (М.: Физматлит, 2005).
43. <http://tmt.ucolic.org/>
44. <http://www.aura-nio.noao.edu/book/index.html>
45. <http://exoplanet.eu/catalog.php>
46. Кардашев Н.С. *Астрономический журн.*, **41**, 282 (1964).
47. Зуев В.С., Корольков К.С., Крылов А.Ю., Носач О.Ю., Поскачев А.Ю. *Квантовая электроника*, **15** (10), 1959 (1988).
48. <http://wO.sao.ru/hg/komarov/tel/01/index.html>