

Информация, компьютеры и цивилизации во Вселенной

Н. С. Кардашев

Астрокосмический центр ФИАН

Заголовок включает основные понятия, которые в XX веке относятся к огромным областям науки (кибернетика, информатика, молекулярная биология, астрофизика, фундаментальная физика и космология), тесно связанным с происхождением и эволюцией жизни, включая происхождение и эволюцию цивилизаций. Эти области в значительной степени определяют дальнейшее развитие нашей цивилизации. Концепция фундаментальной роли информации и систем ее обработки (компьютеров) в развитии цивилизации излагается в многочисленных исследованиях и публикациях (“третья волна” по Э. Тоффлеру). Перечень некоторых обобщающих работ на основе этой концепции приведен в конце статьи.

Ниже конспективно дано функциональное описание основных представлений концепции об определяющей роли в эволюции жизни биокомпьютеров и их программ. Во второй части обсуждаются некоторые предположения о возможном развитии цивилизаций в рамках современных представлений о структуре и эволюции Вселенной, а также возможные пути поиска ВЦ на современном этапе.

INFORMATION, COMPUTERS AND CIVILIZATIONS IN THE UNIVERSE, by **N.S.Kardashev**. The title contains the basic concepts which refer in the 20th century to huge fields of science (cybernetics, informatics, molecular biology, astrophysics, fundamental physics, and cosmology) closely connected with the origin and evolution of life including the origin and evolution of civilizations. These fields largely determine further development of our civilization. The concept of the fundamental role of information and systems of its processing (computers) in the development of a civilization is expounded in numerous studies and publications (“the third wave”, according to Toffler). A list of some generalizing papers based on this concept is adduced at the end of this paper.

Below is given briefly a functional description of basic ideas of the concept of the decisive role of people in the evolution of life of biocomputers and their software. The second part discusses some assumptions about a possible development of civilizations within the framework of modern concepts of the structure and evolution of the Universe and possible ways of the search for ECs at the current stage.

1. Вселенная и информация

Основные составляющие Вселенной — это пространство и время, материя и энергия, жизнь и цивилизации, законы и информация. Обычно каждый объем пространства описывается его физическими параметрами (плотность, температура и тип частиц, спектр излучения и др.). Однако важно отметить, что через каждый объем непрерывно с помощью различных носителей (частиц, электромагнитного, гравитационного или других излучений) проходит информация, вышедшая из других частей Вселенной в другие моменты времени. Например, в глаз человека вместе с фотонами приходит информация обо всем окружающем и, в частности, о звездном небе.

Вселенная наполнена разнообразной информацией. Понятие информация является одним из наиболее фундаментальных и определяется интуитивно как сведения о строении и эволюции Вселенной (качественное, количественное и функциональное описание предметов и явлений).

Можно выделить две формы информации — естественная и кодированная (связанная с целенаправленной деятельностью живых систем).

Пространственно-временные представления выделяют локальную и глобальную информации. Распространение информации описывается специальными законами. В разных районах Вселенной информация различна и в каждом объеме она меняется со временем.

2. Компьютеры во Вселенной

Функциональное определение компьютера — система для сбора, хранения и обработки информации, создания в результате обработки новой информации, создания и использования программ, решения задач и передачи команд исполнительным устройствам для взаимодействия с объектами Вселенной.

Функциональное определение программы — описание алгоритма решения задачи с помощью имеющейся информации. Закон — обобщение, возникающее из обработки информации и описывающее устройство объектов и процессы во Вселенной.

Законы природы, случай и программа — основа эволюции во Вселенной. Программы возникают и эволюционируют одновременно с появлением и развитием компьютеров. Структура (архитектура) компьютеров и программ усложняется, приобретает разветвленную иерархию, растут потоки информации и базы данных, скорости обработки возрастают. Возникают мультикомпьютеры и компьютерные сети со сложными периферическими устройствами взаимодействия между собой и другими объектами Вселенной. Компьютеры становятся открытыми системами, т.е. могут, взаимодействуя с окружающей средой, получать не только информацию, но и совершенствовать все элементы своей структуры.

3. Жизнь и компьютеры

В XX веке уже широко обсуждалось сходство живых систем и компьютеров. А.А.Ляпунов в 1963 г. предложил функциональное определение жизни (Ляпунов, 1963) как “высокоустойчивого состояния вещества, использующего для выработки сохраняющих реакций информацию, кодируемую состояниями отдельных молекул”. Открытие генетической памяти, двойной спирали ДНК в каждом ядре биологических клеток как реального носителя этой памяти, и, наконец, создание первых биокомпьютеров полностью подтвердили эту модель (Адельман, 1994; Паун и др., 2004; Уитби, 2004).

В XXI веке уже определено можно сказать: жизнь — это высокоустойчивая открытая компьютерная сеть, способная собирать и, в соответствии со своими программами, использовать информацию о Вселенной и о самой себе для получения еще большего количества информации, выработки сохраняющих реакций и эволюции.

Под информацией о самой себе, видимо, следует понимать любые сведения о живых организмах и их системах, включая отдельного человека и цивилизацию, их структуру, экономику, науку,

культуру, искусство и, основное, их поведение и нравственные принципы.

Короче: компьютеры и их программы — основа и душа жизни и ее эволюции.

Принимая такое определение, необходимо понимать, что это только качественный вывод и функциональное определение. В то же время надо иметь в виду колоссальную сложность биокомпьютеров и их программ по сравнению с современными искусственными. До сих пор мы не можем понять, как работает даже один нейрон (клетка мозга). Человеческий мозг состоит примерно из 10^{11} нейронов, большинство из них имеют тысячи связей друг с другом. Поэтому, хотя и имеет место огромный прогресс в изучении искусственного интеллекта и даже реализованы первые биокомпьютеры, впереди еще очень длинный путь дальнейших исследований (Уитби, 2004).

Простейшие биокомпьютеры и их программы возникают из неживой природы как сложные молекулы, управляемые законами квантовой механики. В процессе эволюции, благодаря естественному отбору и мутациям, биокомпьютеры усложняются, возникает биосфера из многоклеточных (многокомпьютерных) организмов во всем ее многообразии. Появляется человек и цивилизация, которые создают искусственные компьютеры, используют коллективные базы данных (содержащие информацию обо всем, что известно, и обеспечивающие самый широкий персональный доступ к ней), программы и периферические устройства (включая все виды деятельности). В начале истории нашего общества роль Интернета, баз данных и систем коммуникаций выполняют языки, письменность и другие элементы культуры. В XXI веке практически вся Земля охвачена системой мгновенного обмена информацией между компьютерами — Интернетом и другими электронными системами связи (радио, телевидение, мобильный телефон), а вся цивилизация становится все больше похожей на некий сверхкомпьютер.

4. Эволюция биологических (пост-биологических) форм и программ

Многочисленные исследования убедительно показали, что основа строения и эволюции всего живого (клетки, флоры и фауны, человека и цивилизации) — биокомпьютеры, их программы, базы данных и периферические устройства, а сознание является процессом работы биокомпьютера. При возникновении первых форм биокомпьютеров на молекулярном уровне и их программ определяющую роль играет окружающая среда, естественный отбор, а также случайные сбои в структуре и

программе (мутации). На этапе современного развития (особенно после появления искусственных компьютеров и их программ, бурного развития вычислительной техники на основе кибернетики, информатики, работ по созданию искусственного интеллекта и, главное, признания, что компьютер — основа жизни) роль программ и баз данных становится определяющей в эволюции жизни. “То, что мы пока не можем телеграфировать схему человека из одного места в другое, связано, в основном, с техническими трудностями...” (Н. Винер, 1958).

Основное отличие высших форм жизни — возможность абстрактного анализа собираемой информации, выявление и использование законов природы, в том числе и живых организмов. Это определяет формирование и развитие важнейших частей программы — самосохранения и нравственности поведения, реализации функционирования сознания как процесса, синтезирующего познание, творчество и эмоции. Эти части программы, найденные из опыта эволюции нашей цивилизации, являются основой программы дальнейшей её эволюции.

Некоторые из основных космологических моделей предполагают наличие бесконечного количества качественно новой информации в бесконечной во времени и пространстве эволюционирующей Вселенной, что открывает неограниченную перспективу эволюции жизни и цивилизаций.



Рис. 1: Слева — модель хаотической инфляционной многоэлементной Вселенной без тоннелей, справа — то же с тоннелями и Интернетом Вселенной.

5. Многоэлементная Вселенная («Multiverse») и поиск ВЦ

Модель хаотической инфляции является основой современной космологии (Уилер, 1955; Мизнер и Уилер, 1957; Уилер, 1957; Виленкин, 1983; Линде, 1986). Она предполагает существование, кроме нашей, бесконечного количества других вселенных, возникающих из сверхплотного скалярного поля в разных областях и в разные моменты времени, образуя “пространственно-временную пену”. Первичные пространственные тоннели (кротовые норы), вероятно, существуют в исходном скалярном поле, они, возможно, сохраняются после инфляции и связывают различные районы нашей и многоэлементной Вселенной (Виссер, 1995). Это открывает уникальную возможность обнаружения нового типа объектов — входов в тоннели и через них — исследования других вселенных (см. рис.1).

Как следует из сказанного выше, в многоэлементной Вселенной могут существовать цивилизации любого уровня развития, т.е. даже полностью цивилизованные объемы пространства-времени с возможностью дальнейшего их развития и расширения. Тоннели между вселенными открывают уникальную возможность как для развития самих цивилизаций, так и для исследований и обмена информацией между цивилизациями любого уровня. Таким образом, если существуют тоннели, можно предположить, что система кротовых нор используется как Интернет и метро Вселенной, которые позволяют осуществлять связь и контакты с цивилизациями любого уровня развития из соображений практической целесообразности. Поэтому в поиск ВЦ, кроме уже обсуждаемых направлений исследований, должны быть включены специальные работы с целью обнаружения упомянутых выше входов в тоннели и возможных источников излучения из их окрестностей.

6. Методы поиска и оптимальные диапазоны

При поиске ВЦ возможно обнаружение астроинженерных конструкций (сфер Дайсона) в предположении, что они излучают планковский спектр с температурами от 3 до 300 К. Соответственно, диапазон поиска охватывает область от 10 мкм до 1 см. Характерное отличие спектра у объектов, которые много больше длины волны (от излучения пыли) — изменение интенсивности, пропорциональное квадрату частоты в релеевской части.

Второе направление — поиск информационных сигналов. Здесь выбор оптимального диапазона зависит от предположений о стороне, посылающей сигналы. Расчет линии связи может быть надеж-

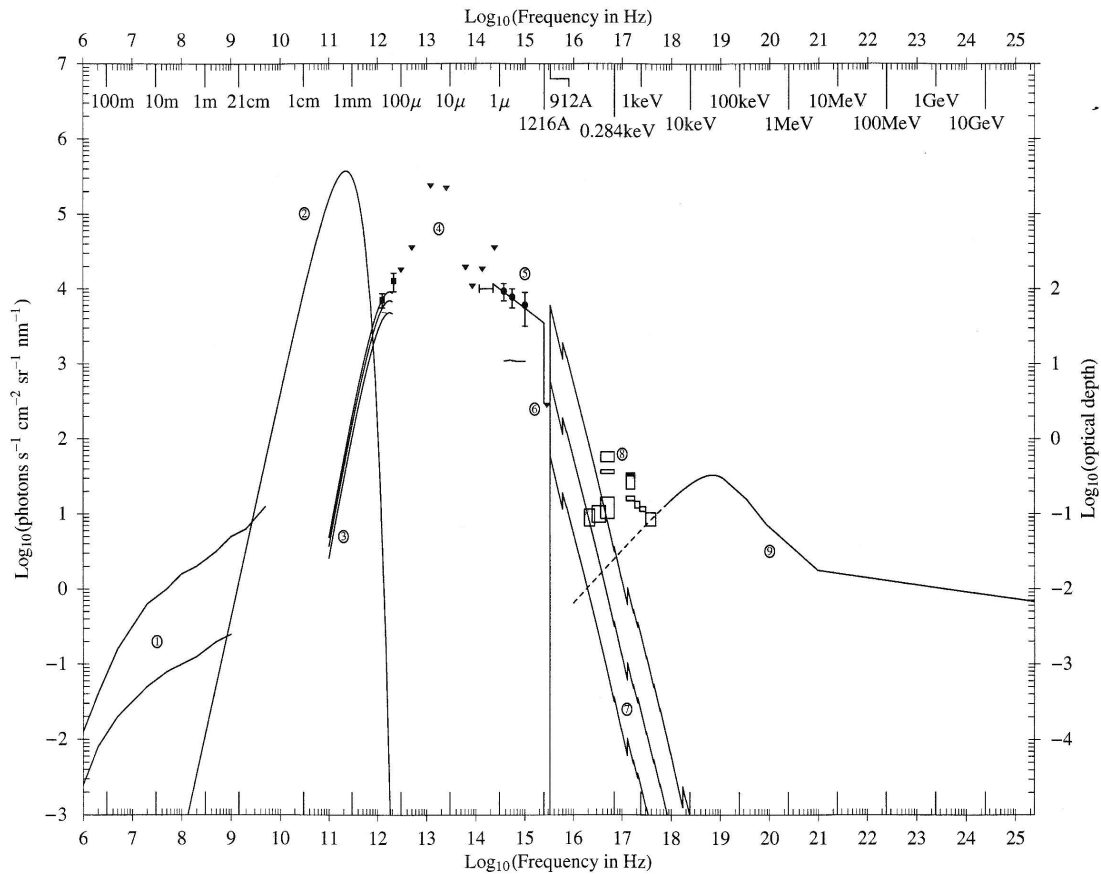


Рис. 2: Спектр электромагнитного космического фона для высоких галактических широт (Генри, 1999).

но выполнен. Принципиальным источником шума является фоновое космическое излучение, спектр которого теперь известен во всех диапазонах (рис. 2). Поглощение межзвездной пылью и плазмой, а также квантовая природа сигнала также являются ограничивающими факторами.

Оптимальный диапазон поиска изотропного излучения с высоконаправленными антеннами лежит в районе 20 см. Если передающая сторона также использует высоконаправленный телескоп, то возможный диапазон перемещается на более короткие волны, от коротких миллиметровых волн до инфракрасной области спектра. Здесь ограничения, кроме фона, связаны с квантовыми флуктуациями сигнала и поглощением межзвездной пылью (по мере приближения к оптическому диапазону).

Исходя из этих оценок, необходимо продолжить обзор неба на РАТАН-600 с целью обнаружения объектов с чернотельным спектром в диапазоне 15–30 ГГц и, возможно, даже на 90 ГГц.

Поиск и исследование импульсных и монохро-

матических сигналов будет наиболее эффективным на крупнейших строящихся на Земле и планируемых для вывода в космос инструментах: радиотелескопе АТА института SETI (“решетка Аллена” — 350 зеркал диаметром 6.1 м с геометрической площадью 10^4 м²), антенне SKA (“квадратный километр”), радиотелескопе РТ-70 на плато Суффа, спутнике “Миллиметрон”, спутнике JWST.

7. Радиотелескоп “Квадратный километр” (SKA)

На рис. 3 показаны пять различных конструкций системы:

- сферические антенны типа Аресибо,
- сферические длиннофокусные антенны с облучателем на привязном аэростате,
- решетка из параболических антенн,
- решетка из антенн типа линзы Люнеберга,
- решетка из малонаправленных антенн с электронным управлением.

Основные параметры по техническому зада-



Рис. 3: Различные варианты конструкции телескопа SKA.

нию:

- главный параметр, отношение эффективной площади к шумовой температуре системы $A_{eff}/T_{sys}=2 \cdot 10^4 \text{ м}^2 \text{ К}$,
- спектральный диапазон 0.15 — 20 ГГц,

- поле зрения — 1 кв. градус (на частоте 1,4 ГГц),
- число одновременных лучей — 100,
- максимальное расстояние между лучами — 100 градусов (на низкой частоте), 1 градус (на 1.4 ГГц),
- угловое разрешение — 0.1 с (на 1.4 ГГц),
- чувствительность по поверхностной яркости — 1 К от ячейки 0.01 кв. с (континуум),
- мгновенная полоса — $0.5 + \nu/5$ ГГц,
- число спектральных каналов — 104,
- число одновременных спектральных полос — 2,
- динамический диапазон изображений — 10^6 (на 1.4 ГГц),
- поляризационная развязка — 40 дБ.

8. Адаптивный радиотелескоп РТ-70 на плато Суффа

Радиотелескоп РТ-70 строится на высокогорном плато Суффа с северной стороны Туркестанского хребта в Узбекистане. С учетом уникального радиоастроклимата, радиотелескоп преимущественно будет работать в коротковолновой части миллиметрового диапазона волн в автономном и радиоинтерферометрическом режимах в сети наземных и космических радиотелескопов.

Параметры зеркала:

- диаметр — 70 м,
- точность отражающей поверхности (СКО) — 0.07 мм.

В табл.1 приведены основные параметры системы.

9. “Миллиметр”

Проект предполагает создание космической обсерватории миллиметрового, субмиллиметрового и инфракрасного диапазонов длин волн с криогенным телескопом диаметром 12 м, работающим и в автономном режиме, и как интерферометр с базами “Земля-Космос” (с наземными телескопами) и “Космос-Космос” (после запуска второго аналогичного космического телескопа). Обсерватория обеспечит проведение астрономических исследований со сверхвысокой чувствительностью (до наноЯнских) в автономном режиме и со сверхвысоким угловым разрешением (до наносекунд дуги) — в интерферометрическом.

12-метровое зеркало телескопа образуется из автоматически раскладывающихся 24 лепестков и 3-метрового центрального элемента (по типу антенного рефлектора КРТ проекта “РадиоАстрон”)

Таблица 1: Параметры системы РТ-70

Диапазоны	I	II	III	IV	V	VI	VII
	Приоритетные диапазоны						
Средняя длина волны ($\lambda_{min} \lambda_{max}$) ^{1/2} (мм)	0.9	1.2	1.8	3.4	8.2	13.7	35.3
Ширина диапазона (ГГц)	275-373	211-275	125-211	67-116	26.5-50	18-26.5	4-18
Ширина диаграммы 1.02(λ/D) по уровню 0.5 (")	2.7	3.6	5.4	10	25	41	106
Эффективная площадь (м ²)	1350	2000			2700		
Эффективность (КИП)	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7
Чувствительность (СКО при накоплении 1мин/8час) (мкЯн)	480/20	220/10	140/7	100/5	170/8	560/30	800/40
Шумовая температура системы (при 3 мм осажденной воды) (К)	380	230	190	160	50	50	40
Шумовая температура приемника (К)	100	100	100	100	50	30	10
Максимальная полоса приемника (ГГц)	30	30	30	30	23.5	8.5	2×8

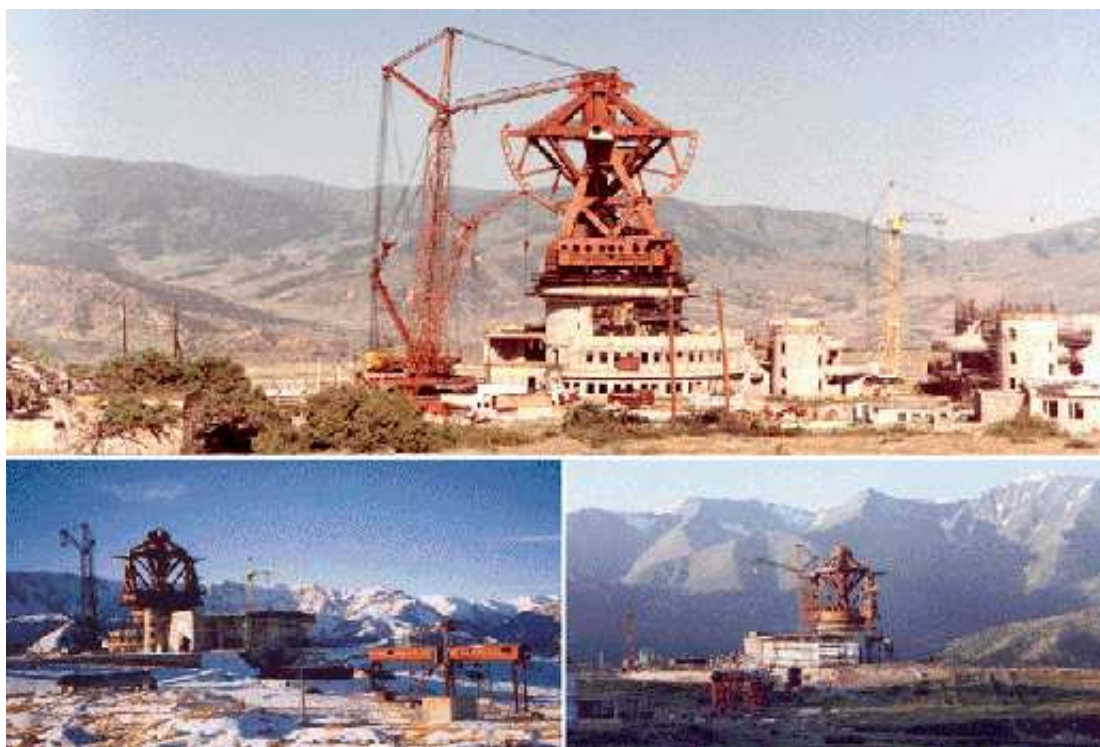


Рис. 4: Панорама строительства радиотелескопа РТ-70.

с доведением точности и стабильности формы поверхности до 10 мкм (скв). Все охлаждаемые конструкции телескопа максимально укрыты экранами, защищающими от излучения Солнца, Земли, Луны и межпланетной пыли. Оптимальная ориентация экранов непрерывно поддерживается специальной системой.

10. JWST

Инфракрасный космический телескоп нового поколения James Webb Space Telescope (JWST) планируется запустить в космос в августе 2013 г. Диапазон — 0,6-28 мкм, угловое разрешение $\sim 0.1''$, телескоп будет расположен вблизи точки Лагранжа L2.

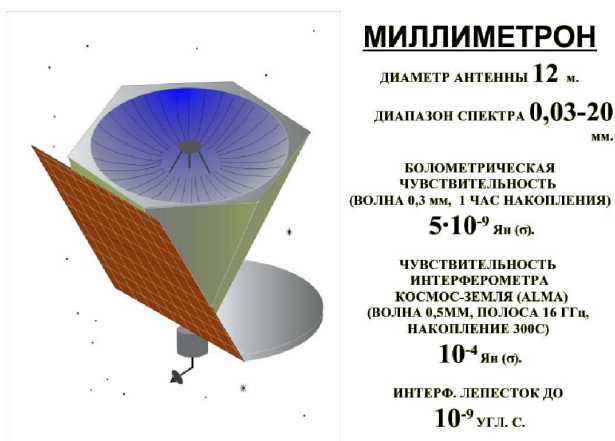


Рис. 5: Общий вид криогенного космического телескопа, окруженного экранами-радиаторами.

Размер апертуры основного зеркала составит 6.5 м. Это в 2.5 раза больше диаметра зеркала телескопа Hubble, который работает сейчас на околоземной орбите. Но при этом масса зеркала телескопа JWST будет вдвое меньше. Оно будет состоять из 18 шестиугольных бериллиевых элементов. Рабочая температура зеркала — 50 К, размер солнечного экрана 22×10 м. Инструмент будет работать 5–10 лет.

В проекте постройки и запуска этого телескопа, кроме NASA, принимают участие Европейское и Канадское космические агентства, ряд научных институтов и промышленных компаний.

11. Сравнение возможностей проектов для поиска искусственных сигналов

Для изотропной передачи и высоконаправленной приемной антенны отношение сигнал/шум (S/N) и число принятых квантов от каждого посланного импульса N_q можно найти из соотношений

$$S/N = EA_r (\Delta\nu \cdot \Delta t)^{0.5} / [4\pi D^2 (\varepsilon_\nu^2 + \varepsilon_\nu h\nu)^{0.5}],$$

$$N_q = EA_r / (4\pi D^2 h\nu),$$

где $\varepsilon_\nu = (1/2; 1) I_\nu \lambda^2$, коэффициент 1/2 или 1 соответствует двум или одной поляризации, I_ν — спектральная плотность интенсивности фона, ν и λ — частота и длина волны сигнала, E — энергия излучаемого импульса, A_r — эффективная площадь принимающей антенны, $\Delta\nu$ и Δt — полоса и длительность сигнала, D — расстояние до передатчика.

Для направленной передачи $S/N = EA_t A_r (\Delta\nu \cdot \Delta t)^{0.5} / [\lambda^2 D^2 (\varepsilon_\nu^2 + \varepsilon_\nu h\nu)^{0.5}],$
 $N_q = EA_t A_r / (ch\lambda D^2),$
 где добавилась A_t — эффективная площадь передающей антенны.

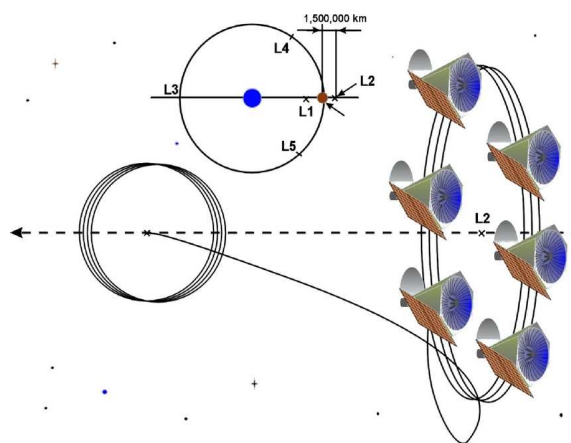


Рис. 6: Возможное развитие системы космических телескопов “Миллиметрон”, начиная от эллиптических орбит внутри орбиты Луны, кончая решеткой в районе антисолнечной точки Лагранжа L_2 (1.5 млн. км от Земли) с вынесенными антеннами в треугольных точках Лагранжа (150 млн. км от Земли).

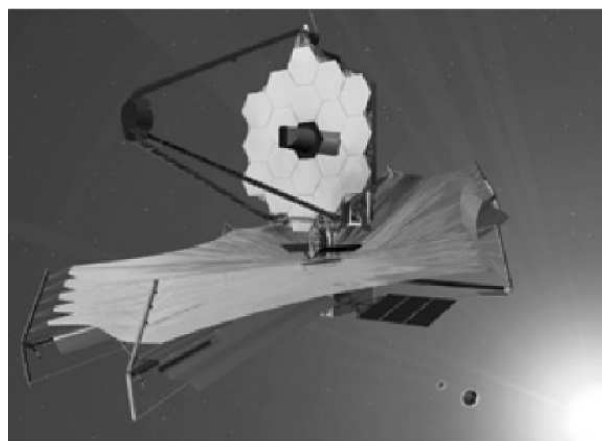


Рис. 7: Криогенный инфракрасный телескоп JWST.

12. Обнаружение сигналов

Определим отношение S/N и N_q для всех перечисленных выше телескопов для случая направленной передачи такой же антенной, как и приемная на Земле. В табл.2 включена также оценка для рентгеновской обсерватории Chandra с целью показать важность параметра N_q . Пусть энергия импульса $E = 10^{10}$ Дж (2.2 кт тротила), $\Delta\nu \Delta t = 1$, расстояние до передатчика $D = 10$ кпк, буква **У** — указывает оценку для радиометра с усилителем, а **С** — с болометром или счетчиком фотонов. Влияние межзвездной среды (поглощение и рассеивание) не учитывается

Таблица 2: Обнаружение сигналов

	ТЕЛЕСКОП	S/N	N_q
Направленная передача, $E = 10^{10}$ Дж (2.2кт тротила), $D=10$ кпс, У – усилитель, С – счетчик фотонов.	SKA $\lambda = 20$ см	$2 \cdot 10^4$, У	$2.8 \cdot 10^6$
	ALMA $\lambda = 1.5$ мм	$6.5 \cdot 10^3$, У	$1.3 \cdot 10^4$
	Миллиметрон $\lambda = 300$ мкм	19, У $1.2 \cdot 10^5$, С	19 19
	JWST $\lambda = 3$ мкм	$2.6 \cdot 10^7$, С	230
	Chandra $\lambda = 0.2$ нм (6.4 кэВ)	$3.5 \cdot 10^{14}$, С	$1.9 \cdot 10^{-7}$

Для изотропной передачи, как уже отмечалось, оптимальным является дециметровый диапазон и для такого же импульса, как при направленной передаче, его можно увидеть с расстояния 60 пс при отношении $S/N = 10$.

13. Выводы

Для успеха SETI представляются особенно важными следующие направления исследований:

- дальнейшее развитие информационно - компьютерной модели цивилизаций,
- развитие многоэлементной модели Вселенной с тоннелями,
- детальное изучение ближайших звездных систем с возрастом, превышающим возраст Солнечной системы,
- исследование природы и эволюции темной материи и темной энергии в нашей Вселенной,
- продолжение поиска и исследование новых типов объектов,
- глубокий обзор неба в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах,
- поиск и изучение кратковременных событий и сверхузкополосных сигналов в радио, инфракрасном и оптическом диапазонах.

Список литературы

Адельман (Adleman E.M.), 1994, Science, **226**, 1021-1024

- Бестужев-Лада И.В., 2003, “Мир нашего завтра. Антология современной классической прогностики”, ЭКСМО Алгоритм, Москва
- Брокман (Brockman J.) 2002, “The Next Fifty Years. Science in the first half of the 21-st century”, Vintage Books, New York
- Виленкин (Vilenkin A.), 1983, Phys. Rev., **D27**, 2848
- Винер Н., 1958, Иностранная литература, Москва
- Виснер (Visser M.), 1995, Lorentzian Wormholes. From Einstein to Hawking, Springer
- Генри (Henry R.C.), 1999, Ap.J., **516**, L49
- Гиндилис Л.М., 2004, “SETI: поиск внеземного разума”, Физматгиз, Москва
- Гуревич И.М., 2003, Законы информатики — основа строения и познания сложных систем, Антикава, Москва
- Капра Ф., 2002, Паутина жизни. Новое научное понимание живых систем, Гелиос, София
- Кардашев Н.С., 1969, Внеземные цивилизации, ред. Каплан С.А., стр. 25-101, Наука, Москва
- Линде (Linde A.), 1986, Phys. Lett. B, **175**, 395
- Ляпунов А.А., 1963, Проблемы кибернетики, вып. 10, 179
- Миснер и Уилер (Misner C.W. and Wheeler J.A.), 1957, Ann. Phys. (NY), **2**, 525
- Паун Г., Розенберг Г., Саломаа А., 2004, ДНК — компьютер. Новая парадигма вычислений, Мир, Москва
- Пенроуз Р., 2003, Новый ум короля. О компьютерах, мышлении и законах физики”, УРСС, Москва
- Рис М., 2002, Наша космическая обитель, Институт компьютерных исследований, Москва-Ижевск
- Рис (Rees M.), 2003, Our Final Hour. A scientist warning: how terror, error, and enviromental disaster threaten humankind's future, Basic Books
- Типплер (Tipler F.J.), 1995, The Physics of Immortality. Modern cosmology, God, and resurrection of the dead, Anchor Books
- Тоффлер Э., 2003, Третья волна, АСТ, Москва
- Уилер (Wheeler J.A.), 1955, Phys. Rev., **97**, 511
- Уилер (Wheeler J.A.), 1957, Ann. Phys. (NY), **2**, 604
- Уитби Б., 2004, Искусственный интеллект: реальна ли матрица, ФАИР-ПРЕСС, Москва
- Фукуяма Ф., 2005, Конец истории и последний человек, АСТ, Москва
- Фукуяма Ф., 2004, Наше постчеловеческое будущее. Последствия биотехнологической революции, ФСЕ, Москва
- Шварцман В.Ф., 1986, Поиск внеземных цивилизаций проблема астрофизики или культуры в целом?, Москва
- Шкловский И.С., 1986, Вселенная, жизнь, разум, изд. 5, Наука, Москва