

Научная статья  
УДК 539.1  
DOI: <https://doi.org/10.18127/j20700970-202403-04>

## Линия сверхтонкой структуры позитрония как средство связи с внеземными цивилизациями

В.Л. Кауц<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (Москва, Россия)

<sup>1</sup> vkauts@mail.ru

### Аннотация

**Постановка проблемы.** Задача установления контакта связи с внеземными цивилизациями включает поиск оптимального диапазона частот принимаемого сигнала, в частности, учета поглощения при распространении, отсутствие естественных источников излучения данной длины волны.

**Цель.** Провести анализ линии, отвечающей сверхтонкой структуре основного состояния позитрония, как возможного источника техногенного происхождения.

**Результаты.** Показано, что регистрация линии сверхтонкой структуры позитрония космического происхождения современными техническими средствами предполагает техногенную природу сигнала.

**Практическая значимость.** Проведение программ поиска внеземных цивилизаций на частоте сверхтонкого расщепления основного состояния позитрония.

### Ключевые слова

Позитроний, аннигиляция, внеземные цивилизации

### Для цитирования

Кауц В.Л. Линия сверхтонкой структуры позитрония как средство связи с внеземными цивилизациями // Нелинейный мир. 2024. Т. 22. № 3. С. 30–34. DOI: <https://doi.org/10.18127/j20700970-202403-04>

A brief version in English is given at the end of the article

### Введение

Атом позитрония – простейшая водородоподобная система, состоящая из позитрона и электрона, связанными кулоновским взаимодействием. Хорошо изученный экспериментально в лабораторных условиях позитроний является уникальной системой для прецизионного тестирования квантовой электродинамики. Несмотря на многочисленные космические эксперименты по наблюдению электрон-позитронной аннигиляционной линии (511 КэВ) [1] напрямую обнаружить атом позитрония в космосе до сих пор не удалось. Теоретический анализ предсказывает что процесс аннигиляции в астрофизических условиях преимущественно идет через стадию образования позитрония и сопровождается формированием характеристических линий позитрония с интенсивностью на пределе чувствительности современных телескопов [1–5]. Спектр позитрония определяется фундаментальными мировыми константами и может рассматриваться как уникальный код нашей Вселенной. Уникальность линии сверхтонкой структуры основного состояния позитрония (203387 МГц) и достаточная прозрачность Вселенной на данной частоте позволили Н.С. Кардашеву [6] предложить указанную частоту как наиболее оптимальную для связи и поиска внеземных цивилизаций.

**Ц е л ь р а б о т ы** – провести анализ линии, отвечающей сверхтонкой структуре основного состояния позитрония, как возможного источника техногенного происхождения.

### Атом позитрония

Основная структура уровней позитрония, вероятности радиационных переходов, длины волн отличаются от атома водорода на тривиальный фактор 2. Основное отличие позитрония от водорода – возможность аннигиляции с S-уровней. Суммарный спин позитрония может равняться либо нулю (парапозитроний, аннигиляция происходит с образованием двух фотонов), либо единице (ортопозитроний, аннигиляция происходит с образованием трех фотонов). Вероятности аннигиляции:

$$w_{n\alpha \rightarrow 2\gamma} = \frac{80}{n^3} \cdot 10^8 \text{ с}^{-1}; \quad w_{n\alpha \rightarrow 3\gamma} = \frac{0,075}{n^3} \cdot 10^8 \text{ с}^{-1},$$

где  $n$  – главное квантовое число уровня.

Тонкая и сверхтонкая структура уровней позитрония является уникальным прецизионным экспериментальным тестом квантовой электродинамики. На рис. 1 приведен спектр низколежащих уровней позитрония.

### Переходы между низколежащими уровнями позитрония

Для низколежащих уровней позитрония вероятность образования фотона (при переходе между ними) сравнима с вероятностью образования аннигиляционных фотонов и поэтому при выборе оптимальных для наблюдений линий должны быть учтены другие факторы: например, поглощение в межзвездной среде при распространении фотона данной энергии.

Ввиду большого поглощения в ультрафиолетовой области спектра в направлении на Галактический Центр, надежд обнаружить наиболее интенсивную линию  $L_\alpha$  позитрония от этого источника нет, хотя от внегалактических источников (ядер активных галактик) и от Солнца такие наблюдения обязательно необходимо провести, тем более что от ядер активных галактик наблюдается ультрафиолетовый избыток. Наиболее оптимальной для обнаружения в направлении на Галактический Центр представляется линия  $H_\alpha$  позитрония ( $\lambda \sim 1,3$  мкм). Ожидаемый поток энергии в данной линии на Земле [3]:

$$F = 5 \cdot 10^{-17} \text{ эрг/см}^2 \text{ с}.$$

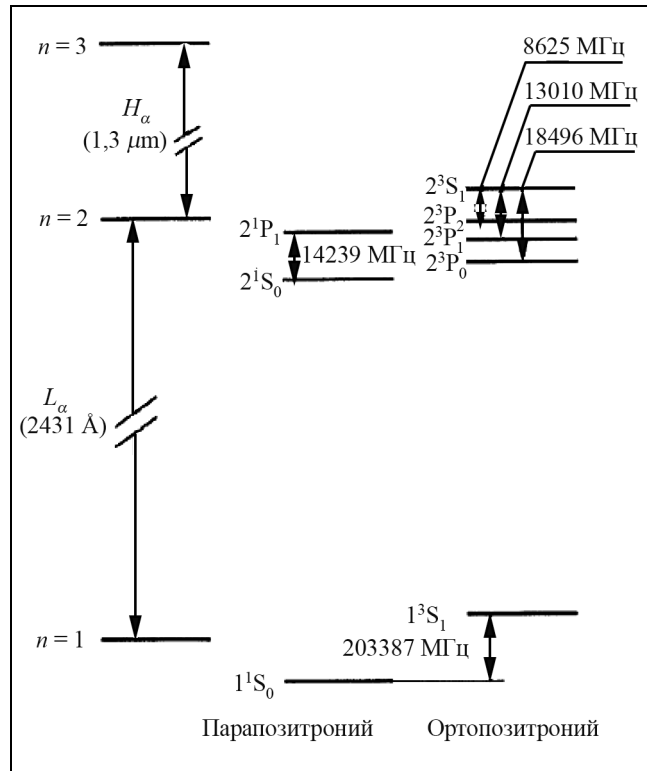
### Наблюдения радиорекомбинационных линий позитрония

Радиорекомбинационные линии водорода, впервые рассмотренные в работе Н.С. Кардашева [7], являются мощным инструментом исследования областей ионизованного водорода (см., например, [8]). Аналогичные линии должны возникать при аннигиляции замедлившихся позитронов в различных астрофизических средах. Оценим интенсивности данных линий, возникающих в Галактическом Центре. Частоты радиорекомбинационных линий позитрония равны:

$$\nu = \frac{1}{2} Ry \left( \frac{1}{(n')^2} - \frac{1}{(n)^2} \right), \quad \frac{1}{2} Ry = 1,644 \cdot 10^{15} \text{ Гц}.$$

Вероятность образования уровня  $n$  (при  $n \gg 1$ ) оказывается  $P(n) \sim 1/n^3$  (так как в случае  $n \gg 1$  применимо Борновское приближение в интересующей нас области энергий) [3]. Этот фактор подавления одинаков для любой среды.

Рассмотрим процесс девозбуждения позитрония после образования в состоянии  $(n, l)$ , где  $l$  – орбитальное квантовое число. Открытие нового канала по сравнению с водородом (аннигиляция с  $S$  уровнями) не приводит к новым эффектам, если радиационный каскад протекает в области боль-



Спектр низколежащих уровней позитрония  
Spectrum of low-lying positronium levels

ших значений углового момента  $l$ . В то же время при эффективном заселении состояний с  $l \sim 1$  необходимо учитывать возможность аннигиляции только в парапозитронии, так как

$$w_{n_0 \rightarrow 2\gamma} = \frac{80}{n^3} 10^8 \text{ с}^{-1};$$

$$w_{n_0 \rightarrow 3\gamma} = \frac{0,075}{n^3} 10^8 \text{ с}^{-1};$$

$$A_{n_0 \rightarrow 2p} = \frac{0,75}{n^3} 10^8 \text{ с}^{-1}.$$

и таким образом для ортопозитрония аннигиляция с возбужденных уровней сильно подавлена. При  $n \gg 1$  столкновениями устанавливается статистическая заселенность уровней по квантовому числу  $l$ , внутри оболочки с данным значением  $n$ . Отметим, что без учета данного эффекта заселялись бы в основном состояния с  $l \sim 1$  и не происходило эффективного развития каскада. В случае статистического заселения уровней по  $l$  переход  $n \rightarrow n-1$  оказывается одного порядка с другими возможными переходами, так как, например, для сил осцилляторов при условии статистического заселения  $\frac{f_{n,n-1}}{f_{n,n-2}} = 8,8$  и, следовательно,  $\frac{A_{n,n-1}}{A_{n,n-2}} = 2,2$ .

Предположим, что распад данного уровня происходит преимущественно за счет радиационного перехода. Тогда вероятность появления линии, соответствующей переходу  $n_\alpha$  (в расчете на один позитроний) можно оценить по формуле

$$w \sim \frac{1}{n^3} \times \frac{1}{n} = \frac{1}{n^4}.$$

Следовательно, для отношения потоков в линии  $n_\alpha$  и аннигиляционной линии 511 КэВ можно записать:

$$F^{n_\alpha} / F^{511} \sim \frac{\Phi}{n^4 (2 - 1,5\Phi)}.$$

где  $\Phi$  – доля аннигилирующих позитронов через стадию образования позитрония.

Для Галактического Центра при  $F^{511} \sim 10^{-3}$  фот/см<sup>2</sup>с и  $\Phi \sim 0,9$  получим:

$$F^{n_\alpha} \cong \frac{3 \cdot 10^{-23}}{[\lambda / 1\text{мм}]^{7/3}} \text{ эрг/см}^2\text{с}.$$

### Возможность наблюдения переходов между компонентами тонкой и сверхтонкой структуры позитрония

Перенос излучения в линиях тонкой и сверхтонкой структуры позитрония для  $n = 1, 2$  детально рассмотрен в работах [4,5]. Основная особенность формирования излучения в данных линиях – возникновение инверсной заселенности и мазерного эффекта из-за возможности аннигиляции с низколежащих уровней. Соответствующий расчет показал, что даже с учетом мазерного эффекта ожидаемая интенсивность в линиях ниже порога современной наблюдательной техники.

### Линия сверхтонкой структуры позитрония как средство связи с внеземными цивилизациями

Энергия сверхтонкого расщепления основного состояния позитрония является универсальным значением, определяемым с помощью мировых констант в рамках расчетов квантовой электродинамики, а также при проведении прецизионных экспериментальных исследований. В работе

Н.С. Кардашева [6] на основании рассмотрения фонового излучения Вселенной была продемонстрирована уникальность данной частоты с точки зрения распространения сигнала во Вселенной и предложена возможность коммуникации на данной частоте внеземных цивилизаций. Таким образом, в связи с малой ожидаемой интенсивностью линии сверхтонкой структуры позитрония от любых естественных космических источников, любая регистрация сигнала на данной частоте может быть рассмотрена как попытка установления связи с внеземной цивилизацией.

### Заключение

Уникальность атома позитрония, его спектральных характеристик, позволяют рассматривать его как универсальную мировую константу. Отсутствие интенсивных природных источников на длине волны сверхтонкого расщепления основного состояния позитрония и малая интенсивность космического фона на данной частоте представляют возможность рассматривать линию сверхтонкой структуры позитрония как средство связи и поиска внеземных цивилизаций.

### Список источников

1. *Guessoum N., Ramaty R., Lingenfelter R.E.* Positron annihilation in the interstellar medium *Astrophys. J.* 1991. V. 378. P.170.
2. *Burdyuzha V.V., Kauts V.L.* Recombinational lines of Ps (positronium) as tracer of annihilation process. *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 1994. V. 92. P. 549.
3. *Burdyuzha V., Kauts V., Wallyn P.* Characteristic lines of positronium from sources of annihilation line *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 1996. V. 120. P. 365.
4. *Burdyuzha V.V., Kauts V.L.* Positronium in space: proposal for detection *Astrophysics and Space Science.* 1998. V. 258. P. 329.
5. *Burdyuzha V.V., Durouchoux Ph., Kauts V.L.* Possibility of Detecting the Hyperfine Ground State Transition of Positronium *Astronomy Letters.* 1999. V. 25. № 3. P. 136.
6. *Kardashev N.S.* Optimal wavelength region for communication with extraterrestrial intelligence: 1.5 mm *Nature.* 1979. V. 278. P. 28.
7. *Кардашев Н.С.* О возможности обнаружения разрешенных линий атомарного водорода в радиодиапазоне // *Астрономический Журнал.* 1959. Т. 36. С. 838.
8. *Sorochenko R.L.* Possibilities of investigation of interstellar matter by radio recombination lines (Review). *Astron. Nachr.* 1989. V. 310. P. 389.

### Информация об авторах

**Владимир Леонидович Кауц** – к.ф.-м.н., доцент кафедры физики, факультет «Фундаментальные науки»  
SPIN-код: 4984-8460

Статья поступила в редакцию 17.05.2024  
Одобрена после рецензирования 05.07.2024  
Принята к публикации 28.08.2024

Original article

# Positronium hyperfine structure line as a means of communication with extraterrestrial civilizations

V.L. Kauts<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Bauman Moscow State Technical University (Moscow, Russia)

<sup>1</sup> vkauts@mail.ru

---

## Abstract

The problem of establishing contact with extraterrestrial civilizations involves determining the optimal frequency range of the received signal, taking into account in particular signal absorption during propagation and absence of natural radiation sources at the wavelength considered.

Purpose – analysis of the line corresponding to the ultrafine structure of the ground state of positronium considered as a source of potentially artificial origin.

It is shown that a line of ultrafine positronium structure of cosmic origin being recorded by modern facilities presupposes a technogenic nature of the signal.

Conducting extraterrestrial civilization search programs at the frequency of ultrafine splitting of the ground state of positronium.

## Keywords

*Positronium, annihilation, extraterrestrial civilizations*

## For citation

---

*Kauts V.L.* Positronium hyperfine structure line as a means of communication with extraterrestrial civilizations. *Nonlinear World*. 2024. V. 22. № 3. P. 30–34. DOI: <https://doi.org/10.18127/j20700970-202403-04> (In Russian)

---

## REFERENCES

1. *Guessoum N., Ramaty R., Lingenfelter R.E.* Positron annihilation in the interstellar medium *Astrophys. J.* 1991. V. 378. P.170.
2. *Burdyuzha V.V., Kauts V.L.* Recombinational lines of Ps (positronium) as tracer of annihilation process. *Astrophys. J. Suppl. Ser.* 1994. V. 92. P. 549.
3. *Burdyuzha V., Kauts V., Wallyn P.* Characteristic lines of positronium from sources of annihilation line *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* 1996. V. 120. P. 365.
4. *Burdyuzha V.V., Kauts V.L.* Positronium in space: proposal for detection *Astrophysics and Space Science.* 1998. V. 258. P. 329.
5. *Burdyuzha V.V., Durouchoux Ph., Kauts V.L.* Possibility of Detecting the Hyperfine Ground State Transition of Positronium *Astronomy Letters.* 1999. V. 25. № 3. P. 136.
6. *Kardashev N.S.* Optimal wavelength region for communication with extraterrestrial intelligence: 1.5 mm *Nature.* 1979. V. 278. P. 28.
7. *Kardashev N.S.* O vozmozhnosti obnaruzheniya razreshennyh linij atomarnogo vodoroda v radiodiapazone. *Astronomicheskij Zhurnal.* 1959. T. 36. S. 838 (In Russian).
8. *Sorochenko R.L.* Possibilities of investigation of interstellar matter by radio recombination lines (Review). *Astron. Nachr.* 1989. V. 310. P. 389.

## Information about the authors

**Vladimir L. Kauts** – Cand. Sc. (Phys.-Math.), Assistant Professor of Physics Department, Faculty of Fundamental Sciences

The article was submitted 17.05.2024

Approved after reviewing 05.07.2024

Accepted for publication 28.08.2024