

Copyright © 2015 by Academic Publishing House *Researcher*

Published in the Russian Federation
 Russian Journal of Astrophysical Research. Series A
 Has been issued since 2015.
 ISSN: 2410-9347
 Vol. 1, Is. 1, pp. 32-44, 2015

DOI: 10.13187/rjar.2015.1.32
www.ejournal28.com



UDC 621.315

Antimatter: Synthesis, Properties and Applications

1. General Principles of Interaction of Matter and Antimatter. Non-Relativistic Theory

Evgeny P. Prokopiev ^{a, *}

Russian Research Center "Kurchatov Institute", Institute for Theoretical and Experimental Physics, Russian Federation

Abstract

In the non-relativistic approximation for the interaction of atoms with antiatoms in extremely low-density gas (e.g., space plasmas) analyzed the problem of the interaction of matter and antimatter. The article discusses the restructuring and annihilation in atom-anti-nuclear interactions, as well as the stationary state of the atom systems-antiatom. The article shows various approximate methods for solving the stationary problem, for example, methods LCAO MO SCF and Hitler London.

Keywords: anti-matter, synthesis, properties, the theory of non-relativity.

Введение

Проблемы освоения ближнего и дальнего космоса и межзвездных перелетов неразрывно связаны с современными научно-техническими достижениями [1-7]. Несомненный интерес [8-48] представляет проблема взаимодействия материи и антиматерии вообще и нерелятивистская проблема взаимодействия вещества и антивещества в частности. Действительно, недавние наблюдения [8-10] показали, что в центре нашей Галактики имеется объект (или вернее область) с протяженностью порядка 10^{13} км, в состав которого входит много атомов позитрония и позитронов. В такой области при наличии античастиц возможно образование антиатомов и даже антимолекул, состоящих из антинуклонов и позитронов а также смешанных атомных и молекулярных объектов, в состав которых входят частицы и античастицы (позитроны, электроны, нуклоны и антинуклоны и другие массивные античастицы и частицы).

Обсуждение

Заметим при этом, что космологические аспекты существования в нашей материнской Вселенной антиматерии уже неоднократно осуждались и являются предметом пристального внимания в современной науке [1-8, 24, 27, 28, 38-43, 47, 48]. Интересными являются взаимодействия античастиц с веществом в пузырьковых камерах, служащих их детекторами [9]. Обсуждаются также возможности использования антивещества как наиболее эффективного источника энергии [11, 17, 20-23, 25, 29-33, 35-37, 40-46].

* Corresponding author
 E-mail addresses: epprokopiev@mail.ru (E.P. Prokopiev)

В основополагающих работах Моргана и Хьюза [49, 50] детально проанализированы вопросы взаимодействия плазмы вещества и антивещества при высоких температурах. Рассмотрено влияние кулоновского взаимодействия на процессы прямой аннигиляции, радиационных захватов и столкновений, приводящих к перестройке атомных систем. Установлено, что эти процессы приводят к появлению связанных состояний частиц и античастиц типа Ферми-Теллера [51], из которых идет интенсивная аннигиляция. Сечение процесса перестройки значительно больше сечения прямой аннигиляции и должно учитываться при расчетах общей скорости аннигиляции в широком интервале кинетических энергий.

Результаты

Ниже рассмотрен случай очень низких температур в чрезвычайно разреженном газе, когда вещество и антивещество практически не ионизовано. В этом случае атом-антиатомные столкновения также приводят к ядерно-антиядерным связанным состояниям, способствующих процессу аннигиляции [14]. При этом случай взаимодействия n - электронных и m - позитронных атомов и антиатомов, описывается гамильтонианом

$$H = H_0 + V, \quad (1)$$

где H_0 - гамильтониан невозмущенной системы с фиксированным межъядерным расстоянием, V - гамильтониан атом-антиатомного взаимодействия. Пусть заряд ядра есть Ze , а антиядра - $\bar{Z}e$; тогда гамильтониан невозмущенной системы $A - \bar{A}$ в нерелятивистском приближении равен

$$V = -\frac{Z \cdot \bar{Z}}{R} + \sum_{i=1}^n \frac{\bar{Z}}{|\bar{R} + \vec{r}_i|} + \sum_{j=1}^m \frac{Z}{|-\bar{R} + \vec{r}_j|} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{1}{|\bar{R} + \vec{r} - \vec{r}_j|}$$

$$H_0 = -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \nabla_i^2 - \sum_{i=1}^n \frac{Z}{r_{ai}} + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^n \frac{1}{|\vec{r}_i - \vec{r}_k|} - \frac{1}{2} \sum_{j=1}^m \nabla_j^2 - \sum_{j=1}^m \frac{\bar{Z}}{r_{bj}} + \sum_{j=1}^{m-1} \sum_{l=j+1}^m \frac{1}{|\vec{r}_j - \vec{r}_l|}, \quad (2)$$

$$V = -\frac{Z \cdot \bar{Z}}{R} + \sum_{i=1}^n \frac{\bar{Z}}{|\bar{R} + \vec{r}_i|} + \sum_{j=1}^m \frac{Z}{|-\bar{R} + \vec{r}_j|} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{1}{|\bar{R} + \vec{r} - \vec{r}_j|} \quad (3)$$

Здесь \vec{r}_i - радиус-вектор электрона относительно ядра, а \vec{r}_j - радиус-вектор позитрона относительно антиядра, \bar{R} - радиус-вектор от антиядра к ядру. В (2) и (3) и в дальнейшем всюду используются ат. ед.

Невозмущенные значения энергии E_k и собственные функции Ψ_k являются решением уравнения Шредингера

$$(H_0 - E_k)\Psi_k = 0 \quad (4)$$

Так как V равно нулю при $R \rightarrow \infty$, то общая энергия системы $A - \bar{A}$ $E(R)$ в этом случае есть E_p для состояния p и вследствие этого межатомная потенциальная энергия

$$V_p(R) = E(R) - E_p \quad (5)$$

На больших расстояниях $R \geq 10a_0$ (a_0 - боровский радиус) V рассматривается как малое возмущение [49, 50]. В потенциал взаимодействия $V_p(R)$ вносят основной вклад дипольные и мультипольные члены, отвечающие электростатическому взаимодействию $A - \bar{A}$.

При $R \rightarrow 0$ естественно $V_p(R) = Z \cdot \bar{Z} / R$, то есть может образоваться связанная ядерно-антиядерная система. При этом лептоны уходят из связанных состояний в атоме и антиатоме. Существует критическое расстояние $R = R_c$ между ядром и антиядром, при котором начинается спонтанная ионизация системы. Это расстояние может быть определено при решении полной задачи

$$(H_0 + V)\Psi = E\Psi \quad (6)$$

с гамильтонианом (1). Для решения задачи используются различные приближенные методы: метод Гайтлера-Лондона для систем с малым числом лептонов [49, 50, 52] и неограниченный метод Хартри-Фока в схеме МО ЛКАО для многолептонных систем [53]. В этом случае гамильтониан системы $A - \bar{A}$ записывается в виде

$$H = \sum_{i=1}^n f_i + \sum_{j=1}^m \bar{f}_j + \sum_{i<j}^{m+n} g_{ij}, \quad (7)$$

где

$$f_i = -\frac{1}{2} \nabla_i^2 - \frac{Z_a}{r_{ai}} + \frac{\bar{Z}_b}{\bar{r}_{bi}}, \quad (8)$$

$$\bar{f}_j = -\frac{1}{2} \nabla_j^2 + \frac{Z_a}{r_{aj}} - \frac{\bar{Z}_b}{\bar{r}_{bj}}, \quad (9)$$

Здесь f_i и \bar{f}_j - одноэлектронные и однопозитронные операторы. Последний член в (7) соответствует межлептонному взаимодействию, где $g_i = r_{ij}^{-1}$ для $i, j \leq n$, в то время как при $i, j > n$ $g_i = -r_{ij}^{-1}$.

Фермионные электронная Φ и позитронная $\bar{\Phi}$ волновые функции записываются в виде

$$\Phi = (n!)^{-1/2} \|\varphi_i(r_k, \alpha_k)\|_{i,k=1,2,\dots,n}, \quad (10)$$

$$\bar{\Phi} = (m!)^{-1/2} \|\bar{\varphi}_j(r_l, \alpha_l)\|_{j,l=1,2,\dots,m}, \quad (11)$$

где φ_i и $\bar{\varphi}_j$ - ортонормированные спин-орбитали.

Так как обменное взаимодействие между электронами и позитронами в нерелятивистском приближении отсутствует, то общая волновая функция записывается как $\Psi = \Phi \cdot \bar{\Phi}$. Вариационный принцип заключается в минимизации функционала

$$E - \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n \lambda_{ik} S_{ik} - \sum_{j=1}^m \sum_{l=1}^m \lambda_{jl} S_{jl} = 0 \quad (12)$$

$$F\varphi_s = e_s \varphi_s, s = 1, 2, \dots, n, \quad (13)$$

$$\bar{F}\bar{\varphi}_t = \bar{e}_t \bar{\varphi}_t, t = 1, 2, \dots, m \quad (14)$$

для электронов и позитронов. Операторы Фока F \bar{F} имеют вид

$$F = f_i + \sum_{i=1}^n (J_i - K_i) - \sum_{j=1}^m \bar{J}_j, \quad (15)$$

$$\bar{F} = \bar{f}_i + \sum_{i=1}^m (\bar{J}_i - \bar{K}_i) - \sum_{j=1}^n J_j, \quad (16)$$

Развитый формализм решения задачи для общего случая системы $A - \bar{A}$ был применен к взаимодействию $H - \bar{H}$ и $He - \bar{He}$. Потенциал межатомных взаимодействий $A - \bar{A}$ при этом совпадал с более точными вариационными расчетами [49, 50, 52].

Рассмотрим простейшие связанные лептонные состояния систем с числом лептонов один и два в поле протона p и антипротона \bar{p} .

Системы $p - H$ и $\bar{p} - \bar{H}$. Эти системы представляют собой молекулярный ион водорода H_2^+ и молекулярный ион антиводорода \bar{H}_2^- . Свойства таких систем хорошо известны и приводятся во всех монографиях по квантовой химии.

Системы $\bar{p} - H$ и $p - \bar{H}$. В этом случае слагаемые гамильтониана (1) имеют вид

$$H_0 = -\frac{1}{2} \nabla^2 - \frac{1}{\bar{r}_{a1}}, \quad (17)$$

$$V = -\frac{1}{R} - \frac{1}{\bar{R} - \bar{r}_a} \quad (18)$$

Как было показано ранее [14] на основании известных работ по квантовым системам в физике и химии (см. ссылку в [14]), для решения задачи с гамильтонианом (17) и (18) ($H = H_0 + V$) может быть использовано приближение связанных состояний лептона на диполе конечной длины. Уравнение Шредингера, описывающее движение лептона на этом диполе конечной длины R , так что $\mu = eR$ - дипольный момент, в сферических координатах имеет вид

$$\left(\frac{1}{2} \nabla^2 - \frac{\mu}{r^2} \cos \theta - E \right) \psi = 0 \quad (19)$$

Здесь, как обычно, $\psi = R(r)Y(\theta, \varphi)$.

Предварительно заметим, что собственные значения энергии лептона $E(\mu_1(R)) = \varepsilon(\mu) / R^2$, где μ_1 - некоторая функция только μ , так что μ при $E = 0$ независимо от R . Существует критическое значение μ_0 , при котором лептоны «уходят» из связанного состояния на диполе (в случае точечного диполя $R = 0$). В этом случае, если $\mu > \mu_0$, может наблюдаться «падение» лептона на центр [54] ($E \rightarrow -\infty$). Уравнение (19) для радиальной части $R(r)$ при $E = 0$ имеет вид

$$\frac{d^2 R}{dr^2} + \frac{2}{r} \frac{dR}{dr} + \frac{C}{r^2} = 0, \quad (20)$$

где C - постоянная разделения переменных. Уравнение (20) подробно обсуждено Л.Ландау и Е.Лифшицем [54]. Показано, что удовлетворяющее критическому случаю

решение $R(r) = Ar^{-1/2}$ существует только для случая $C = 1/4$. Так как угловой момент относительно Z оси имеет постоянное значение, равное нулю для основного состояния, то уравнение для угловой части Y запишется в виде

$$\left(\frac{d}{d\eta}\right)\left[(1-\eta)^2\left(\frac{dY}{d\eta}\right)\right] + (2\mu\eta - C)Y = 0, \quad (21)$$

где $\eta = \cos\theta$. Решение (21) есть

$$Y = \sum_{l=0}^{\infty} a_l P_l(\eta), \quad (22)$$

P_l - полином Лежандра. Из (21) и (22) можно получить соотношение

$$[l/(2l-1)(2l+1)^2]a_{l-1} - (8\mu)^{-1}a_l + [(l+1)/(2l+3)(2l+1)^2]a_{l+1} = 0, \quad (23)$$

где принято во внимание, что $C = 1/4$. Таким образом, критическое значение μ_0 дается наибольшим собственным значением $\lambda = (1/8)\mu_0$ матрицы величины λ . Первое приближение матрицы λ дает $\mu_0 \approx 3\sqrt[3]{3} = 0,6495$, что близко к точному численному расчету $\mu_0 = 0.639315\dots$, что соответствует величине дипольного момента в единицах Дебая $\mu_0 = 1,62487$ Д. Таким образом, критическое значение, при котором исчезает основное состояние лептона на диполе $p - \bar{p}$, $R_c \geq 0,639315 a_0$. Следует отметить, что возникает вопрос физического смысла «падения» лептона на центр при $\mu > \mu_0$ для диполя типа $p - \bar{p}$. Может быть это явление способствует образованию связанных состояний $p - \bar{p}$ (протоний) с последующей аннигиляцией p с \bar{p} . Это вопрос нуждается в дальнейших исследованиях.

Системы $H - H$ и $\bar{H} - \bar{H}$. Они представляют собой обычные молекулы водорода H_2 и антиводорода \bar{H}_2 . Их свойства хорошо изучены и приводятся во всех монографиях по квантовой химии.

Системы $H - \bar{H}$. Рассмотрим более подробно случай взаимодействия водород-антиводород. В приближении Гайтлера-Лондона волновую функцию такой системы запишем в виде

$$\varphi(\vec{r}, \vec{r}') = \varphi_{\bar{H}\eta}(\vec{r})\varphi_{\bar{H}\eta}(\vec{r}') \quad (24)$$

Гамильтониан системы типа (2), (3) позволяет вычислить полную энергию системы $H - \bar{H}$

$$H = -\frac{1}{2}\nabla^2 - \frac{1}{2}\nabla'^2 - \frac{1}{r} + \frac{1}{r'} + \frac{1}{|\vec{r} - \vec{R}|} + \frac{1}{|\vec{r}' - \vec{R}|} - \frac{1}{|\vec{r} - \vec{R} - \vec{r}'|} - \frac{1}{R} \quad (25)$$

Исходя из (24), (25) нетрудно вычислить полную энергию системы

$$E_{H-\bar{H}} = E_{H\eta} + E_{\bar{H}\eta'} + J = E_{H\eta} + E_{\bar{H}\eta'} + \iint \varphi_{H\eta}^*(\vec{r}) \varphi_{\bar{H}\eta'}^*(\vec{r}') \cdot \left[\frac{1}{|\vec{r} - \vec{R}|} + \frac{1}{|\vec{r}' - \vec{R}|} - \frac{1}{|\vec{r} - \vec{R} - \vec{r}'|} - \frac{1}{R} \right] \varphi_{H\eta}(\vec{r}) \varphi_{\bar{H}\eta'}(\vec{r}') d\vec{r} d\vec{r}' \quad (26)$$

Здесь $E_{H\eta}$ $E_{\bar{H}\eta'}$ – энергия электрона и позитрона на p и \bar{p} соответственно, а кулоновский интеграл J включает в себя четыре кулоновских взаимодействия: электрон-позитрон и протон-антипротон. Энергия ионизации такой системы в отношении распада системы на p и \bar{p} и свободные лептоны (электрон и позитрон) равна при этом [55]

$$E_I = E_{H\eta} + E_{\bar{H}\eta'} + J + \frac{1}{R} \quad (27)$$

Однако могут возникать и такие ситуации, когда система диссоциирует на электрон (энергия ионизации E_1) или позитрон (энергия ионизации E_2) с образованием систем $p-H$ и $\bar{p}-\bar{H}$ соответственно. Рассчитанные [57] энергии ионизации первого и второго лептонов подтвердили вывод [55,56] о существовании связанных состояний на $p-\bar{p}$ лишь при определенных значениях R . Связанные состояния позитрония (Ps) на $p-\bar{p}$ осуществляются лишь при $R_c \geq 0,96a_0$, а электрона или позитрона – при $R_c \geq 0,64a_0$ [52, 55, 56].

Время жизни позитрона в системе $H-\bar{H}$ относительно 2γ – аннигиляции рассчитывается по формуле

$$\tau = 1,25 \cdot 10^{-10} \cdot \rho(Ps) / \rho(R), \text{ с} \quad (28)$$

где $\rho(Ps)$ – электронная плотность в нуле в атоме позитрония, а $\rho(R)$ – электронная плотность на позитроне, определяемая выражением

$$\rho(R) = \langle \varphi(\vec{r}, \vec{r}', \vec{R}) | \delta(\vec{r} - \vec{r}') | \varphi(\vec{r}, \vec{r}', \vec{R}) \rangle \quad (29)$$

Например, при $R = 0,975a_0$, по данным [56], $\rho(R) / \rho(Ps) = 0,4$ и отсюда $\tau = 3,1 \cdot 10^{-10} \cdot \text{с}$.

Заключение

Методы квантовомеханических расчетов процессов взаимодействия вещества и антивещества нуждаются в дальнейшем развитии. Сюда прежде всего относятся вопросы взаимодействия молекул и антимолекул в газовой фазе, отдельных кристаллов вещества и антивещества при малоинтенсивной аннигиляции и других конденсированных сред, состоящих из вещества и антивещества.

Следует отметить также, что полученные выше результаты с успехом могут быть использованы для расчета связанных состояний лептонов (электроны, дырки, позитроны) на системах $A-A$, $D-D$, $A-D$ различной степени ионизации в твердых телах (A, D – символы акцепторов и доноров соответственно), что имеет фундаментальное значение для полупроводниковой электроники и физики медленных позитронов как новой области исследований. Действительно, системы $A-A$, $D-D$, $A-D$ в ансамблях дефектов полупроводников зачастую во многом определяют электрофизические и оптические свойства, а также процессы геттерирования материалов электронной техники. Особо важную роль приведенные выше результаты имеют для более глубокого понимания проблемы суператомов и суперантиатомов в полупроводниковых структурах [12, 14, 18, 19].

Примечания:

1. Сахаров А.Д. Научные труды. Сборник. М.: АОЗТ «Издательство ЦентрКом», 1995.
2. Долгов А.Д., Зельдович Я.Б., Сажин М.В. Космология ранней Вселенной. М.: Изд-во МГУ, 1988.
3. Окунь Л.Б. Физика элементарных частиц. М.: Наука, 1984. 224 с.
4. Власов Н.А. Антивещество. М.: Атомиздат. 1968.
5. Гинзбург В.Л. и др. Астрофизика космических лучей. / Под ред. В.Л. Гинзбурга. М.: Наука. 1990.
6. Прокопьев Е.П. // Оборонный комплекс-научно-техническому прогрессу России. 2003. №2. С. 10-14. С.15, 16. С. 17-19; №3. С.39-41.
7. Колинз Г. Получение холодного антиводорода // В мире науки. 2005. №.9. С.52-59.
8. Альвен Х. Космическая плазма. М.: Мир, 1983.
9. Чуразов Е.М., Сюняев Р.А., Сазонов С.Ю., Ревнивцев М.Г., Варшалович Д.А. Аннигиляционное излучение центральной зоны Галактики: результаты обсерватории ИНТЕГРАЛ // УФН, 2006. Т.176, №3, с.334-339.
10. Ting C.C. et al. Physics Reports. 2002. Vol.366/6. P.331-404; Phys. Lett. 1999. Vol.B461. P.387-396; 2000. Vol.B472. P.215-226; 2000. Vol.B484. P.10-22; 2000. Vol.B490. P.27-35; 2000. Vol.B494. P.193-202.
11. Прокопьев Е.П. О роли исследования позитронных и позитрониевых состояний в науке и технике // В кн.: “Симпозиум по взаимодействию атомных частиц с поверхностью твердого тела, посвященного памяти академика АН УзССР У.А. Арифова”. Ташкент: ФАН, 1979. С.113.
12. Арефьев К.П., Воробьев С.А., Прокопьев Е.П. Позитроника в радиационном материаловедении ионных структур и полупроводников. М.: Энергоатомиздат, 1983. 88 с.
13. Прокопьев Е.П. О процессе аннигиляции позитронов в галактической среде с низкой плотностью // В кн.: Ядерная спектроскопия и структура атомного ядра. Тезисы докладов 41 Международного совещания. Л.: Наука, 1991. С.453.
14. Прокопьев Е.П. О взаимодействии вещества и антивещества. Системы \bar{p} -H, p- \bar{H} и H- \bar{H} . Приложения в электронике // Электронная техника. Сер.3. Микроэлектроника. 1992. Вып.4. С.65-68.
15. Прокопьев Е.П. Позитронная астрофизика и позитронные состояния в галактической среде с низкой плотностью // Астрономический журнал. 1994. Т.70. №3. С.906-908.
16. Prokop'ev E.P. Positron annihilation and positron states in galactic medium with low density // Abstracts of 10 th International Conference on positron annihilation. Beijing, China, May 23-29, 1994. С24-2.
17. Прокопьев Е.П., Графутин В.И., Тимошенко С.П. О возможности использования атома позитрония в проблеме квантовой телепортации. В кн.: Международный научно-технический семинар “Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций”. Материалы семинара. Рязань: Изд-во Рязанской государственной радиотехнической академии, 1999. С.138-140.
18. Прокопьев Е.П., Тимошенко С.П., Графутин В.И., Мясищева Г.Г., Фунтиков Ю.В. Позитроника ионных кристаллов, полупроводников и металлов. М.: Ред.-изд. отдел МИЭТ (ТУ), 1999. 176 с.
19. Графутин В.И., Прокопьев Е.П. Применение позитронной аннигиляционной спектроскопии для изучения строения вещества // Успехи физических наук. 2002. Т. 172. №1. С. 67-83.
20. Прокопьев Е.П. О возможности аннигиляционных источников энергии // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. 2003. №2. С. 10-14.
21. Прокопьев Е.П. О проблеме использования антиводорода в космической технике будущего // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. 2003. №2. С. 15-16.
22. Прокопьев Е.П. Получение интенсивных потоков позитронов и их применение. // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. 2003. №2. С. 17-19.

23. Прокопьев Е.П. Возможность получения энергии и антивещества при низких энергиях: вероятный физический механизм самоорганизации при ядерном синтезе, трансформации элементов и синтезе антивещества. // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. 2004. №3. С. 39, 40.

24. Светлов-Прокопьев Е.П. Особенности рождения ранних вселенных и позитронная аннигиляция. Вестник КазНУ, сер. физ., 2003. Т.2(15). С.7-10. (Материалы докладов 3-й Международной конференции «Современные достижения физики и фундаментальное физическое образование». Казахстан, Алматы, 1-3 октября 2003 г.).

25. Светлов-Прокопьев Е.П. Вероятный физический механизм самоорганизации при ядерном синтезе и синтезе антивещества при низких энергиях. Тезисы доклада. «Вторая междисциплинарная (биология, медицина, физика, химия...) конференция, посвященная 300-летию г.Петрозаводска «Новые биокибернетические и телемедицинские технологии XXI века» («НБИТТ-21»). 23–25 июня 2003 г. Петрозаводск: ПетрГУ, 2003. С. 51.

26. Светлов-Прокопьев Е.П. О рождении антиматерии при столкновениях атомных ядер с $Z > 85$ в «тяжелой» высокотемпературной плазме и возможная схема аннигиляционного двигателя. Тезисы доклада. «Вторая междисциплинарная (биология, медицина, физика, химия) конференция, посвященная 300-летию г.Петрозаводска «Новые биокибернетические и телемедицинские технологии 21 века» («НБИТТ-21»). 23-25 июня 2003 г. Петрозаводск: ПетрГУ, 2003. С. 50, 51.

27. Светлов-Прокопьев Е.П. Обзор о рождении Вселенной посредством квантового туннелирования. Тезисы доклада 3-й Международной конференции «Современные достижения физики и фундаментальное физическое образование». Казахстан, Алматы, 1-3 октября 2003 г. С. 105.

28. Светлов-Прокопьев Е.П. Об особенностях рождения ранних вселенных Хартла-Хокинга. Тезисы доклада 3-й Международной конференции «Современные достижения физики и фундаментальное физическое образование». Казахстан, Алматы, 1-3 октября 2003 г. С.106.

29. Прокопьев Е.П. О возможности получения антивещества при низких энергиях: вероятный физический механизм самоорганизация при ядерном (термоядерном) синтезе и синтезе антивещества. Abstracts of 4-th International Conference. NUCLEAR AND RADIATION PHYSICS (ICNRP '03). 15-17 September 2003. Almaty: Institute of Nuclear Physics, Republic of Kazakstan, 2003. С.144.

30. Светлов-Прокопьев Е.П. Вероятный физический механизм самоорганизации при ядерном синтезе и синтезе антивещества при низких энергиях. Тезисы доклада. «Вторая междисциплинарная (биология, медицина, физика, химия) конференция, посвященная 300-летию г.Петрозаводска «Новые биокибернетические и телемедицинские технологии 21 века» («НБИТТ-21»). 23-25 июня 2003 г. Петрозаводск: ПетрГУ, 2003. С.51.

31. Светлов-Прокопьев Е.П. О рождении антиматерии при столкновениях атомных ядер с $Z > 85$ в «тяжелой» высокотемпературной плазме и возможная схема аннигиляционного двигателя. Тезисы доклада. «Вторая междисциплинарная (биология, медицина, физика, химия) конференция, посвященная 300-летию г.Петрозаводска «Новые биокибернетические и телемедицинские технологии 21 века» («НБИТТ-21»). 23-25 июня 2003 г. Петрозаводск: ПетрГУ, 2003. С.50,51.

32. Светлов-Прокопьев Е.П. Проблема физики и химии антивещества и возможности его синтеза. Доклад и тезисы докладов 54 Международного Совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра (ЯДРО-2004) 22-26 июня 2004. Россия, Белгород. БелгорГУ. 2004. С. 264, 265.

33. Светлов-Прокопьев Е.П. Возможности получения интенсивных потоков позитронов и их применение. Доклад и тезисы докладов 54 Международного Совещания по ядерной спектроскопии и структуре атомного ядра (ЯДРО-2004) 22-26 июня 2004. Россия, Белгород. БелгорГУ. 2004. С. 266, 267.

34. Светлов-Прокопьев Е.П. Возможная концепция Мирового Разума. Тезисы доклада. «Третья междисциплинарная (биология, медицина, физика, химия, математика, образование,...) конференция «Новые биокибернетические и телемедицинские технологии 21 века» («НБИТТ-21»). 21-23 июня 2004 г. Петрозаводск: ПетрГУ, 2004. С.48.

35. Светлов-Прокопьев Е.П. О проблеме физики и химии антивещества и возможности его синтеза. Тезисы доклада. «Третья междисциплинарная (биология, медицина, физика, химия, математика, образование...) конференция «Новые биокибернетические и телемедицинские технологии XXI века» («НБИТТ-21»). 21-23 июня 2004 г. Петрозаводск: ПетрГУ, 2004. С. 49, 50.

36. Светлов-Прокопьев Е.П. Проблема физики и химии антивещества и возможности его синтеза. Материалы VIII Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвящ. 80-летию со дня рождения генерального конструктора ракетно-космических систем академика М.Ф. Решетнева (11-12 ноября 2004, г. Красноярск)/СибГАУ. Красноярск, 2004. 302 с.). С. 102, 103.

37. Суворов А.Л., Разинкова Т.Л. и др. Некоторые вопросы проблемы физики, химии и технологии антивещества: возможности синтеза, хранения, исследования свойств, поиска во Вселенной и применений. Программа и доклад на Юбилейной научной сессии-конференции секции ЯФ ОФН РАН «Физика фундаментальных взаимодействий», посвященной 60 летию ИТЭФ (5–9 декабря 2005 г.). Москва: ФГУП ГНЦ РФ ИТЭФ им. А.И.Алиханова, 2005. С.11.

38. Суворов А.Л., Разинкова Т.Л. и др. Исследование позитронных состояний в космической плазме. Программа и доклад на Юбилейной научной сессии-конференции секции ЯФ ОФН РАН «Физика фундаментальных взаимодействий», посвященной 60-летию ИТЭФ (5 – 9 декабря 2005 г.). Москва: ФГУП ГНЦ РФ ИТЭФ им. А.И. Алиханова, 2005. С. 11.

39. Разинкова Т.Л., Светлов-Прокопьев Е.П. Позитронсодержащие атомные системы в космической плазме. Программа и доклад на Юбилейной научной сессии-конференции секции ЯФ ОФН РАН «Физика фундаментальных взаимодействий», посвященной 60-летию ИТЭФ (5 – 9 декабря 2005 г.). Москва: ФГУП ГНЦ РФ ИТЭФ им. А.И. Алиханова, 2005. С. 22.

40. Светлов-Прокопьев Е.П. Возможные проблемы высоких космических технологий будущего. «Решетневские чтения». Материалы IX Международной научной конференции, посвященной 45-летию Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф.Решетнева (10–12 ноября 2005, г.Красноярск), СибГАУ. Красноярск, 2005). С. 5, 6.

41. Светлов-Прокопьев Е.П., Разинкова Т.Л., Графутин В.И., Фунтиков Ю.В. Исследование позитронных состояний в космической плазме. Труды 5-ой Международной конференции "Ядерная и радиационная физика". 26-29 сентября 2005 года. Алматы, Республика Казахстан. ИЯФ НЯЦ РК: 2005. С. 147.

42. Графутин В.И., Разинкова Т.Л., Светлов-Прокопьев Е.П., Фунтиков Ю.В. Позитронная аннигиляция и космическая гамма - астрономия. Труды 5-ой Международной конференции "Ядерная и радиационная физика". 26-29 сентября 2005 года. Алматы, Республика Казахстан. ИЯФ НЯЦ РК: 2005. С. 169.

43. Светлов-Прокопьев Е.П., Разинкова Т.Л., Графутин В.И., Фунтиков Ю.В. Позитронная аннигиляция и космическая гамма – астрономия. Тезисы доклада 4-й Международной конференции «Современные достижения физики и фундаментальное физическое образование». Казахстан, Алматы, 5-7 октября 2005 г. С.115,116.

44. Разинкова Т.Л., Светлов-Прокопьев Е.П. Проблема физики и химии антивещества: возможности исследования свойств, поиска во Вселенной, синтеза и применений. Труды 5-ой Международной конференции "Ядерная и радиационная физика". 26-29 сентября 2005 года. Алматы, Республика Казахстан. ИЯФ НЯЦ РК: 2005. С. 172.

45. Прокопьев Е.П. Возможность получения антивещества в космическом пространстве с использованием энергии Солнца // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. 2006. №2. С.63-65.

46. Суворов А.Л. и др. Получение антивещества в космическом пространстве для использования энергии солнца. // Петербургский журнал электроники. 2005. №4. С.59-61.

47. Суворов А.Л. и др. Исследование позитронных состояний в космической плазме. // Вестник КазНУ, серия физическая. 2006. №1(21). С. 155-158.

48. Suvorov A.L., Funtikov Yu.V., Grafutin V.I., Razinkova T.L., Svetlov-Prokop'ev E.P., Zakharov A.F. Research of positron states in space. Abstracts of the 6th INTEGRAL Workshop «The Obscured Universe». 2-8 July 2006. Space Research Institute Russian Academy of Sciences. Moscow. P. 28.

49. Morgan D.L., Jr., Hughes V.W. Atomic processes involved in matter-antimatter // *Phys. Rev. D*. 1970. Vol.2. №8. P. 1389-1399.
50. Morgan D.L., Jr., Hughes V.W. Atom-antiatom interactions // *Phys. Rev. A*. 1973. Vol.7. №6. P. 1811-1825.
51. Fermi, E. Teller E. // *Phys. Rev.* 1947. Vol.72. №8. P.399-408.
52. Junker B.R., Bardsley J.N. // *Phys. Rev. Lett.* 1972. Vol.28. №19. P.1227-1229.
53. Chojnacki H., Roszak S. // *Acta phys. polonica* // 1985. Vol.A67. №4. P.811-814.
54. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Квантовая механика. М.: Физматгиз, 1963.
55. Kolos, W. Morgan, D.L. Jr., Schrader D.M., Wolniewicz A. // *Phys. Rev. A*. 1975. Vol.11. №6. P. 1792-1796.
56. Bardsley J.N., Brandt W., Dupasquier A., Junker B.R. // *Phys. Rev. B*. 1976. Vol.13. №9. P. 4175-4177.
57. Прокопьев Е.П. Введение в теорию позитронных процессов в полупроводниках и ионных кристаллах. М.: ЦНИИ «Электроника», P-2837, 1979. 384 с.

References:

1. Sakharov A.D. Nauchnye trudy. Sbornik. M.: AOZT «Izdatel'stvo TsentrKom», 1995.
2. Dolgov A.D., Zel'dovich Ya.B., Sazhin M.V. Kosmologiya rannei Vselennoi. M.: Izd-vo MGU, 1988.
3. Okun' L.B. Fizika elementarnykh chastits. M.: Nauka, 1984. 224 s.
4. Vlasov N.A. Antiveshchestvo. M.: Atomizdat. 1968.
5. Ginzburg V.L. i dr. Astrofizika kosmicheskikh luchei. / Pod red. V.L. Ginzburga. M.: Nauka. 1990.
6. Prokop'ev E.P. // *Oboronnyi kompleks-nauchno-tehnicheskomu progressu Rossii*. 2003. №2. S. 10-14. S.15, 16. S. 17-19; №3. S.39-41.
7. Kolinz G. Poluchenie kholodnogo antivodoroda // *V mire nauki*. 2005. №.9. S.52-59.
8. Al'ven Kh. Kosmicheskaya plazma. M.: Mir, 1983.
9. Churazov E.M., Syunyaev R.A., Sazonov S.Yu., Revnitssev M.G., Varshalovich D.A. Annigilyatsionnoe izluchenie tsentral'noi zony Galaktiki: rezul'taty observatorii INTEGRAL // *UFN*, 2006. T.176, №3, s.334-339.
10. Ting C.C. et al. *Physics Reports*. 2002. Vol.366/6. P.331-404; *Phys. Lett.* 1999. Vol.B461. P.387-396; 2000. Vol.B472. P.215-226; 2000. Vol.B484. P.10-22; 2000. Vol.B490. P.27-35; 2000. Vol.B494. P.193-202.
11. Prokop'ev E.P. O roli issledovaniya pozitronnykh i pozitronievykh sostoyanii v nauke i tekhnike // V kn.: «Cimpozium po vzaimodeistviyu atomnykh chastits s poverkhnost'yu tverdogo tela, posvyashchennogo pamyati akademika AN UzSSR U.A. Arifova». Tashkent: FAN, 1979. S.113.
12. Aref'ev K.P., Vorob'ev S.A., E.P.Prokop'ev. Pozitronika v radiatsionnom materialovedenii ionnykh struktur i poluprovodnikov. M.: Energoatomizdat, 1983. 88 s.
13. Prokop'ev E.P. O protsesse annigilyatsii pozitronov v galakticheskoi srede s nizkoi plotnost'yu // V kn.: *Yadernaya spektroskopiya i struktura atomnogo yadra. Tezisy dokladov 41 Mezhdunarodnogo soveshchaniya*. L.: Nauka, 1991. S.453.
14. Prokop'ev E.P. O vzaimodeistvii veshchestva i antiveshchestva. Sistemy $-N$, r - i N - . Prilozheniya v elektronike // *Elektronnaya tekhnika*. Ser.3. Mikroelektronika. 1992. Vyp.4. S.65-68.
15. Prokop'ev E.P. Pozitronnaya astrofizika i pozitronnye sostoyaniya v galakticheskoi srede s nizkoi plotnost'yu // *Astronomicheskii zhurnal*. 1994. T.70. №3. S.906-908.
16. Prokop'ev E.P. Positron annihilation and positron states in galactic medium with low density // *Abstracts of 10 th International Conference on positron annihilation*. Beijing, China, May 23-29, 1994. C24-2.
17. Prokop'ev E.P., Grafutin V.I., Timoshenkov S.P. O vozmozhnosti ispol'zovaniya atoma pozitroniya v probleme kvantovoi teleportatsii. V kn.: *Mezhdunarodnyi nauchno-tehnicheskii seminar "Problemy peredachi i obrabotki informatsii v setyakh i sistemakh telekommunikatsii"*. Materialy seminara. Ryazan': Izd-vo Ryazanskoj gosudarstvennoj radiotekhnicheskoi akademii, 1999. S.138-140.

18. Prokop'ev E.P., Timoshenkov S.P., Grafutin V.I., Myasishcheva G.G., Funtikov Yu.V. Pozitronika ionnykh kristallov, poluprovodnikov i metallov. M.: Red.-izd. otdel MIET (TU), 1999. 176 s.
19. Grafutin V.I., Prokop'ev E.P. Primenenie pozitronnoi annigilyatsionnoi spektroskopii dlya izucheniya stroeniya veshchestva // Uspekhi fizicheskikh nauk. 2002. T. 172. №1. S. 67-83.
20. Prokop'ev E.P. O vozmozhnosti anigilyatsionnykh istochnikov energii // Oboronnyi kompleks – nauchno-tekhnicheskomu progressu Rossii. 2003. №2. S. 10-14.
21. Prokop'ev E.P. O probleme ispol'zovaniya antivodoroda v kosmicheskoi tekhnike budushchego // Oboronnyi kompleks – nauchno-tekhnicheskomu progressu Rossii. 2003. №2. S. 15-16.
22. Prokop'ev E.P. Poluchenie intensivnykh potokov pozitronov i ikh primenenie. // Oboronnyi kompleks – nauchno-tekhnicheskomu progressu Rossii. 2003. №2. S. 17-19.
23. Prokop'ev E.P. Vozmozhnost' polucheniya energii i antiveshchestva pri nizkikh energiyakh: veroyatnyi fizicheskii mekhanizm samoorganizatsii pri yadernom sinteze, transformatsii elementov i sinteze antiveshchestva. // Oboronnyi kompleks – nauchno-tekhnicheskomu progressu Rossii. 2004. №3. S. 39, 40.
24. Svetlov-Prokop'ev E.P. Osobennosti rozhdeniya rannikh vseennykh i pozitronnaya annigilyatsiya. Vestnik KazNU, ser. fiz., 2003. T.2(15). S.7-10. (Materialy dokladov 3-i Mezhdunarodnoi konferentsii «Sovremennye dostizheniya fiziki i fundamental'noe fizicheskoe obrazovanie». Kazakhstan, Almaty, 1-3 oktyabrya 2003 g.).
25. Svetlov-Prokop'ev E.P. Veroyatnyi fizicheskii mekhanizm samoorganizatsii pri yadernom sinteze i sinteze antiveshchestva pri nizkikh energiyakh. Tezisy doklada. «Vtoraya mezhdistsiplinarnaya (biologiya, meditsina, fizika, khimiya...) konferentsiya, posvyashchennaya 300-letiyu g.Petrozavodska «Novye biokiberneticheskie i telemeditsinskie tekhnologii XXI veka» («NBITT-21»). 23–25 iyunya 2003 g. Petrozavodsk: PetrGU, 2003. S. 51.
26. Svetlov-Prokop'ev E.P. O rozhdenii antimaterii pri stolknoveniyakh atomnykh yader s $Z > 85$ v «tyazheloi» vysokotemperaturnoi plazme i vozmozhnaya skhema annigilyatsionnogo dvigatelya. Tezisy doklada. «Vtoraya mezhdistsiplinarnaya (biologiya, meditsina, fizika, khimiya) konferentsiya, posvyashchennaya 300-letiyu g.Petrozavodska «Novye biokiberneticheskie i telemeditsinskie tekhnologii 21 veka» («NBITT-21»). 23-25 iyunya 2003 g. Petrozavodsk: PetrGU, 2003. S.50,51.
27. Svetlov-Prokop'ev E.P. Obzor o rozhdenii Vselennoi posredstvom kvantovogo tunnelirovaniya. Tezisy doklada 3-i Mezhdunarodnoi konferentsii «Sovremennye dostizheniya fiziki i fundamental'noe fizicheskoe obrazovanie». Kazakhstan, Almaty, 1-3 oktyabrya 2003 g. S. 105.
28. Svetlov-Prokop'ev E.P. Ob osobennostyakh rozhdeniya rannikh vseennykh Khartla-Khokinga. Tezisy doklada 3-i Mezhdunarodnoi konferentsii «Sovremennye dostizheniya fiziki i fundamental'noe fizicheskoe obrazovanie». Kazakhstan, Almaty, 1-3 oktyabrya 2003 g. S.106.
29. Prokop'ev E.P. O vozmozhnosti polucheniya antiveshchestva pri nizkikh energiyakh: veroyatnyi fizicheskii mekhanizm samoorganizatsiya pri yadernom (termoyadernom) sinteze i sinteze antiveshchestva. Abstracts of 4-th International Conference. NUCLEAR AND RADIATION PHYSICS (ICNRP '03). 15-17 September 2003. Almaty: Institute of Nuclear Physics, Republic of Kazakstan, 2003. C.144.
30. Svetlov-Prokop'ev E.P. Veroyatnyi fizicheskii mekhanizm samoorganizatsii pri yadernom sinteze i sinteze antiveshchestva pri nizkikh energiyakh. Tezisy doklada. «Vtoraya mezhdistsiplinarnaya (biologiya, meditsina, fizika, khimiya) konferentsiya, posvyashchennaya 300-letiyu g.Petrozavodska «Novye biokiberneticheskie i telemeditsinskie tekhnologii 21 veka» («NBITT-21»). 23-25 iyunya 2003 g. Petrozavodsk: PetrGU, 2003. S.51.
31. Svetlov-Prokop'ev E.P. O rozhdenii antimaterii pri stolknoveniyakh atomnykh yader s $Z > 85$ v «tyazheloi» vysokotemperaturnoi plazme i vozmozhnaya skhema annigilyatsionnogo dvigatelya. Tezisy doklada. «Vtoraya mezhdistsiplinarnaya (biologiya, meditsina, fizika, khimiya) konferentsiya, posvyashchennaya 300-letiyu g.Petrozavodska «Novye biokiberneticheskie i telemeditsinskie tekhnologii 21 veka» («NBITT-21»). 23-25 iyunya 2003 g. Petrozavodsk: PetrGU, 2003. S.50,51.
32. Svetlov-Prokop'ev E.P. Problema fiziki i khimii antiveshchestva i vozmozhnosti ego sinteza. Doklad i tezisy dokladov 54 Mezhdunarodnogo Soveshchaniya po yadernoi spektroskopii i

strukture atomnogo yadra (YaDRO-2004) 22-26 iyunya 2004. Rossiya, Belgorod. BelgorGU. 2004. C. 264, 265.

33. Cvetlov-Prokop'ev E.P. Vozmozhnosti polucheniya intensivnykh potokov pozitronov i ikh primenenie. Doklad i tezisy dokladov 54 Mezhdunarodnogo Soveshchaniya po yadernoi spektroskopii i strukture atomnogo yadra (YaDRO-2004) 22-26 iyunya 2004. Rossiya, Belgorod. BelgorGU. 2004. C. 266, 267.

34. Svetlov-Prokop'ev E.P. Vozmozhnaya kontseptsiya Mirovogo Razuma. Tezisy doklada. «Tret'ya mezhdistsiplinarnaya (biologiya, meditsina, fizika, khimiya, matematika, obrazovanie...) konferentsiya «Novye biokiberneticheskie i telemeditsinskie tekhnologii 21 veka» («NBITT-21»). 21-23 iyunya 2004 g. Petrozavodsk: PetrGU, 2004. S.48.

35. Svetlov-Prokop'ev E.P. O probleme fiziki i khimii antiveshchestva i vozmozhnosti ego sinteza. Tezisy doklada. «Tret'ya mezhdistsiplinarnaya (biologiya, meditsina, fizika, khimiya, matematika, obrazovanie,...) konferentsiya «Novye biokiberneticheskie i telemeditsinskie tekhnologii XXI21 veka» («NBITT-21»). 21-23 iyunya 2004 g. Petrozavodsk: PetrGU, 2004. S. 49, 50.

36. Svetlov-Prokop'ev E.P. Problema fiziki i khimii antiveshchestva i vozmozhnosti ego sinteza. Materialy VIII Vseros. nauch. konf. s mezhdunar. uchastiem, posvyashch. 80-letiyu so dnya rozhdeniya general'nogo konstruktora raketno-kosmicheskikh sistem akademika M.F. Reshetneva (11-12 noyabrya 2004, g. Krasnoyarsk)/SibGAU. Krasnoyarsk, 2004. 302 s.). S. 102, 103.

37. Suvorov A.L., Razinkova T.L. i dr. Nekotorye voprosy problemy fiziki, khimii i tekhnologii antiveshchestva: vozmozhnosti sinteza, khraneniya, issledovaniya svoystv, poiska vo Vselennoi i primenenii. Programma i doklad na Yubileinoi nauchnoi sessii-konferentsii seksii YaF OFN RAN «Fizika fundamental'nykh vzaimodeistvii», posvyashchennoi 60 letiyu ITEF (5–9 dekabrya 2005 g.). Moskva: FGUP GNTs RF ITEF im. A.I.Alikhanova, 2005. S.11.

38. Suvorov A.L., Razinkova T.L. i dr. Issledovanie pozitronnykh sostoyanii v kosmicheskoi plazme. Programma i doklad na Yubileinoi nauchnoi sessii-konferentsii seksii YaF OFN RAN «Fizika fundamental'nykh vzaimodeistvii», posvyashchennoi 60-letiyu ITEF (5 – 9 dekabrya 2005 g.). Moskva: FGUP GNTs RF ITEF im. A.I.Alikhanova, 2005. S. 11.

39. Razinkova T.L., Svetlov-Prokop'ev E.P. Pozitronsoderzhashchie atomnye sistemy v kosmicheskoi plazme. Programma i doklad na Yubileinoi nauchnoi sessii-konferentsii seksii YaF OFN RAN «Fizika fundamental'nykh vzaimodeistvii», posvyashchennoi 60-letiyu ITEF (5–9 dekabrya 2005 g.). Moskva: FGUP GNTs RF ITEF im. A.I.Alikhanova, 2005. S. 22.

40. Svetlov-Prokop'ev E.P. Vozmozhnye problemy vysokikh kosmicheskikh tekhnologii budushchego. «Reshetnevskie chteniya». Materialy IX Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii, posvyashchennoi 45-letiyu Sibirskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta imeni akademika M.F.Reshetneva (10–12 noyabrya 2005, g.Krasnoyarsk), SibGAU. Krasnoyarsk, 2005). S. 5, 6.

41. Svetlov-Prokop'ev E.P., Razinkova T.L., Grafutin V.I., Funtikov Yu.V. Issledovanie pozitronnykh sostoyanii v kosmicheskoi plazme. Trudy 5-oi Mezhdunarodnoi konferentsii "Yadernaya i radiatsionnaya fizika". 26-29 sentyabrya 2005 goda. Almaty, Respublika Kazakhstan. IYaF NYaTs RK: 2005. S. 147.

42. Grafutin V.I., Razinkova T.L., Svetlov-Prokop'ev E.P., Funtikov Yu.V. Pozitronnaya annigilyatsiya i kosmicheskaya gamma - astronomiya. Trudy 5-oi Mezhdunarodnoi konferentsii "Yadernaya i radiatsionnaya fizika". 26-29 sentyabrya 2005 goda. Almaty, Respublika Kazakhstan. IYaF NYaTs RK: 2005. S. 169.

43. Svetlov-Prokop'ev E.P., Razinkova T.L., Grafutin V.I., Funtikov Yu.V. Pozitronnaya annigilyatsiya i kosmicheskaya gamma – astronomiya. Tezisy doklada 4-i Mezhdunarodnoi konferentsii «Sovremennye dostizheniya fiziki i fundamental'noe fizicheskoe obrazovanie». Kazakhstan, Almaty, 5-7 oktyabrya 2005 g. S.115,116.

44. Razinkova T.L., Svetlov-Prokop'ev E.P. Problema fiziki i khimii antiveshchestva: vozmozhnosti issledovaniya svoystv, poiska vo Vselennoi, sinteza i primenenii. Trudy 5-oi Mezhdunarodnoi konferentsii "Yadernaya i radiatsionnaya fizika". 26-29 sentyabrya 2005 goda. Almaty, Respublika Kazakhstan. IYaF NYaTs RK: 2005. S. 172.

45. Prokop'ev E.P. *Vozможnost' polucheniya antiveshchestva v kosmicheskom prostranstve s ispol'zovaniem energii Solntsa. Oboronnyi kompleks - nauchno-tekhnicheskomu progressu Rossii.* 2006. №2. S.63-65.
46. Suvorov A.L. i dr. *Poluchenie antiveshchestva v kosmicheskom prostranstve dlya ispol'zovaniya energii solntsa. // Peterburgskii zhurnal elektroniki.* 2005. №4. S.59-61.
47. Suvorov A.L. i dr. *Issledovanie pozitronnykh sostoyanii v kosmicheskoi plazme. // Vestnik KazNU, seriya fizicheskaya.* 2006. №1(21). S. 155-158.
48. Suvorov A.L., Funtikov Yu.V., Grafutin V.I., Razinkova T.L., Svetlov-Prokop'ev E.P., Zakharov A.F. *Research of positron states in space. Abstracts of the 6th INTEGRAL Workshop «The Obscured Universe». 2-8 July 2006. Space Research Institute Russian Academy of Sciences. Moscow. P. 28.*
49. Morgan D.L., Jr., Hughes V.W. *Atomic processes involved in matter-antimatter // Phys. Rev. D.* 1970. Vol.2. №8. P. 1389-1399.
50. Morgan D.L., Jr., Hughes V.W. *Atom-antiatom interactions // Phys. Rev. A.* 1973. Vol.7. №6. P. 1811-1825.
51. Fermi, E. Teller E. // *Phys. Rev.* 1947. Vol.72. №8. R. 399-408.
52. Junker B.R., Bardsley J.N. // *Phys. Rev. Lett.* 1972. Vol.28. №19. R. 1227-1229.
53. Chojnacki H., Roszak S. // *Acta phys. polonica // 1985. Vol.A67. №4. P. 811-814.*
54. Landau L.D., Lifshits E.M. *Kvantovaya mekhanika. M.: Fizmatgiz, 1963.*
55. Kolos, W. Morgan, D.L. Jr., Schrader D.M., Wolniewicz A. // *Phys. Rev. A.* 1975. Vol.11. №6. P. 1792-1796.
56. Bardsley J.N., Brandt W., Dupasquier A., Junker B.R. // *Phys. Rev. B.* 1976. Vol.13. №9. P. 4175-4177.
57. Prokop'ev E.P. *Vvedenie v teoriyu pozitronnykh protsessov v poluprovodnikakh i ionnykh kristallakh. M.: TsNII «Elektronika», R-2837, 1979. 384 s.*

УДК 621.315

Антивещество: синтез, свойства, применения

1. Общие принципы взаимодействия вещества и антивещества.

Нерелятивистская теория

Евгений Петрович Прокопьев ^{a, *}

^a НИЦ «Курчатовский институт», ФГБУ «ГНЦ РФ – ИТЭФ», Российская Федерация

Аннотация. В нерелятивистском приближении на примере взаимодействия атомов с антиатомами в чрезвычайно разреженном газе (например, космической плазме) проанализирована проблема взаимодействия вещества и антивещества. Обсуждаются вопросы перестройки и аннигиляции при атом-антиатомных взаимодействиях, а также стационарные состояния систем атом-антиатом. Рассмотрены различные приближенные методы решения стационарной задачи, например, методы LCAO MO SCF и Гайтлера-Лондона.

Ключевые слова: антивещество, синтез, свойства, нерелятивистская теория.

* Корреспондирующий автор

Адреса электронной почты: eprokopiev@mail.ru (Е.П. Прокопьев)