

Эксперимент по поиску солнечных адронных аксионов с помощью пропорциональных счетчиков с катодом из железа

**Гангапшев А.М.
(ИЯИ РАН)**

От коллектива:

Хоконов А.Х., Сергеев И.Н., Ахматов З.А., Казалов В.В., Текуева Д.А., Тхазапличев М.Ш.

сессия-конференция «Физика фундаментальных взаимодействий», посвященная 70-летию со дня рождения академика РАН Валерия Анатольевича Рубакова.

Constraints imposed by CP conservation in the presence of pseudoparticles*

R. D. Peccei and Helen R. Quinn[†]

Institute of Theoretical Physics, Department of Physics, Stanford University, Stanford, California 94305

(Received 31 May 1977)

We elaborate on an earlier discussion of CP conservation of strong interactions which includes the effect of pseudoparticles. We discuss what happens in theories of the quantum-chromodynamics type when we include weak and electromagnetic interactions. We find that strong CP conservation remains a natural symmetry if the full Lagrangian possesses a chiral $U(1)$ invariance. We illustrate our results by considering in detail a recent model of (weak) CP nonconservation.

“... Аксионы - одни из самых интересных частиц в длинном списке тех, что были предложены, но еще не наблюдались или не были исключены. Их существование обеспечило бы элегантное решение «Strong CP-problem». Еще более захватывающей является возможность того, что недостающая масса, необходимая для «закрытия» Вселенной, состоит из аксионов, и что аксионы - это «холодная темная материя», которая, по-видимому, необходима для формирования галактик. ...”

Mark Srednicki, “Axion couplings to matter (I). CP -conserving parts”, Nucl. Phys. B260 (1985) 689-700.

Proposal to Search for a Monochromatic Component of Solar Axions Using ^{57}Fe

Shigetaka Moriyama*

Department of Physics, School of Science, University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo 113, Japan

(Received 27 March 1995)

A new experimental scheme is proposed to search for almost monochromatic solar axions, whose existence has not been discussed heretofore. The axions would be produced when thermally excited ^{57}Fe in the Sun relaxes to its ground state and could be detected via resonant excitation of the same

... Из-за связи аксионов с нуклонами существует еще один компонент солнечных аксионов. Если некоторые нуклиды на Солнце имеют M1-переходы и возбуждаются термически, то также возможно излучение аксионов в результате снятия ядерного возбуждения. ^{57}Fe может быть подходящим аксионным излучателем по следующим причинам: (i) ^{57}Fe имеет переход M1 между первым возбужденным состоянием и основным состоянием; (ii) энергия первого уровня возбуждения ^{57}Fe составляет 14,4 кэВ, что не слишком велико по сравнению с температурой в центре Солнца ($\approx 1,3$ кэВ) [9]; и (iii) ^{57}Fe является одним из стабильных изотопов железа (естественное содержание 2,2%), которое является исключительно распространенным среди тяжелых элементов на Солнце. Если аксион существует, от этого нуклида ожидается сильное излучение аксионов. ...

Сколько ожидается аксионов от ^{57}Fe из недр Солнца на Земле?

В работе *A.V. Derbin, A.I. Egorov, I.A. Mitropol'sky, V.N. Muratova, D.A. Semenov, E.V. Unzhakov* «*Search for resonant absorption of solar axions emitted in M1 transition in ^{57}Fe nuclei*», *Eur. Phys. J. C (2009) 62: 755–760 DOI 10.1140/epjc/s10052-009-1095-y* был выполнен расчет темпа реакций захвата аксионов ядром ^{57}Fe в секунду на Земле:

$$\begin{aligned} R &= 1.56 \cdot 10^{-3} (\omega_A / \omega_\gamma)^2 \\ &= 5.16 \cdot 10^{-3} (g_{AN}^0 \beta + g_{AN}^3)^4 (p_A / p_\gamma)^6 \\ &= 9.29 \cdot 10^{-34} (m_A)^4 (p_A / p_\gamma)^6. \end{aligned}$$

m_A — масса аксиона в эВ.

Пропорциональный счетчик



В рамках проекта планируется создать установку состоящую минимум из 4-х пропорциональных счетчиков с катодами из чистого железа в виде внутренней обечайки толщиной 0.5 мм.

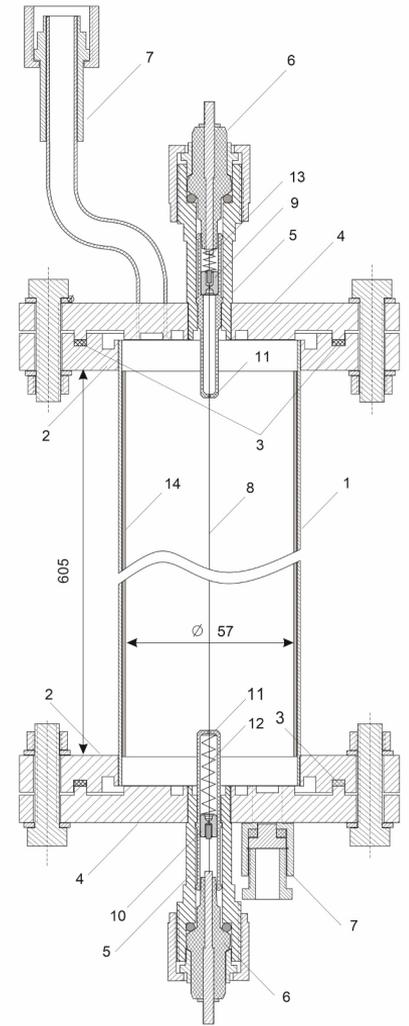
Задача состоит в регистрации гамма-квантов с энергией 14.4 кэВ возникающих при снятии возбуждения в ядрах ^{57}Fe . Кроме того, есть возможность регистрировать так же и конверсионные электроны, вылетающие с поверхности катода.

Рис. 1. Корпус пропорционального счетчика

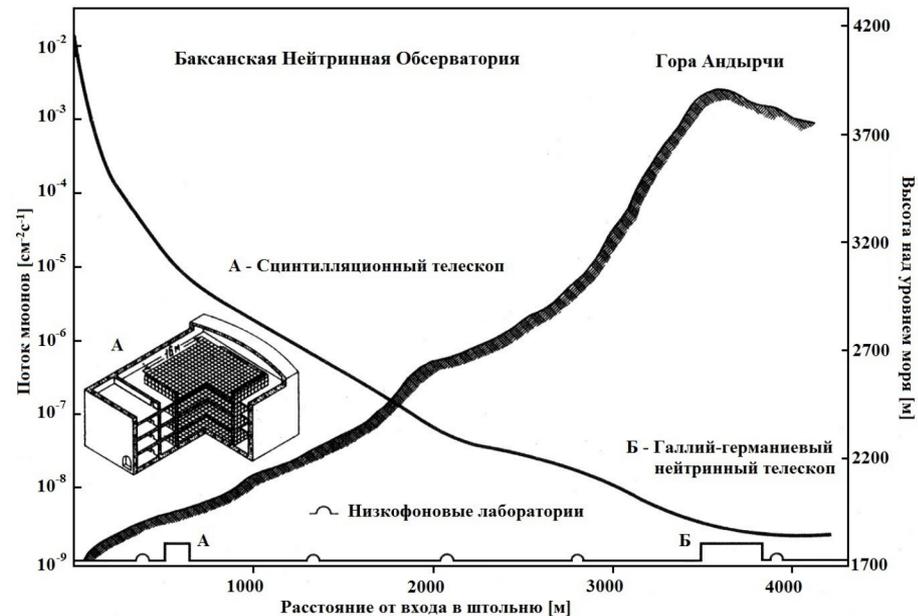
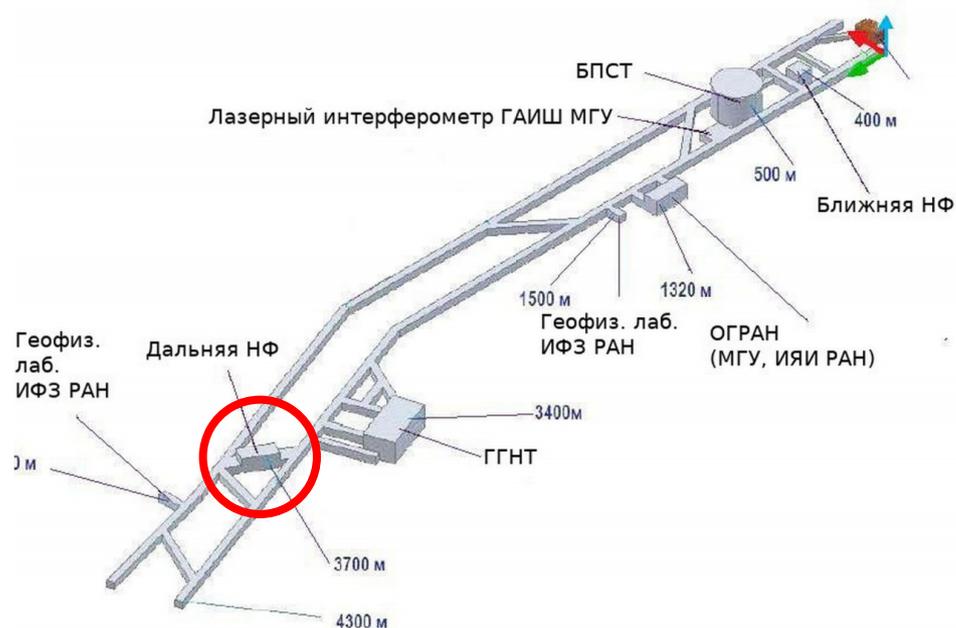
Параметры пропорционального счетчика

- Диаметр рабочей области счетчика — 57 мм
- Длина рабочей области счетчика — 576 мм
- Диаметр анодной нити — 10 мкм
- Давление рабочего газа — 1 ат
- Рабочий газ — ксенон (аргон)

Рис. 2. Схема пропорционального счетчика: корпус включающий трубу 1 с приваренными фланцами 2; фторопластовые прокладки 3; крышки 4; патрубки 5; высоковольтные токовводы 6; штуцеры газо-вакуумной линии 7; анодная нить 8; цилиндры – неподвижный 9 и подвижный 10; фторопластовые вставки 11; пружина 12; пружина 13; внутренняя обечайка 14 из чистого железа (АРМКО), которая выполняет роль мишени и катода одновременно.



Низкофоновая лаборатория



Низкофоновая защита

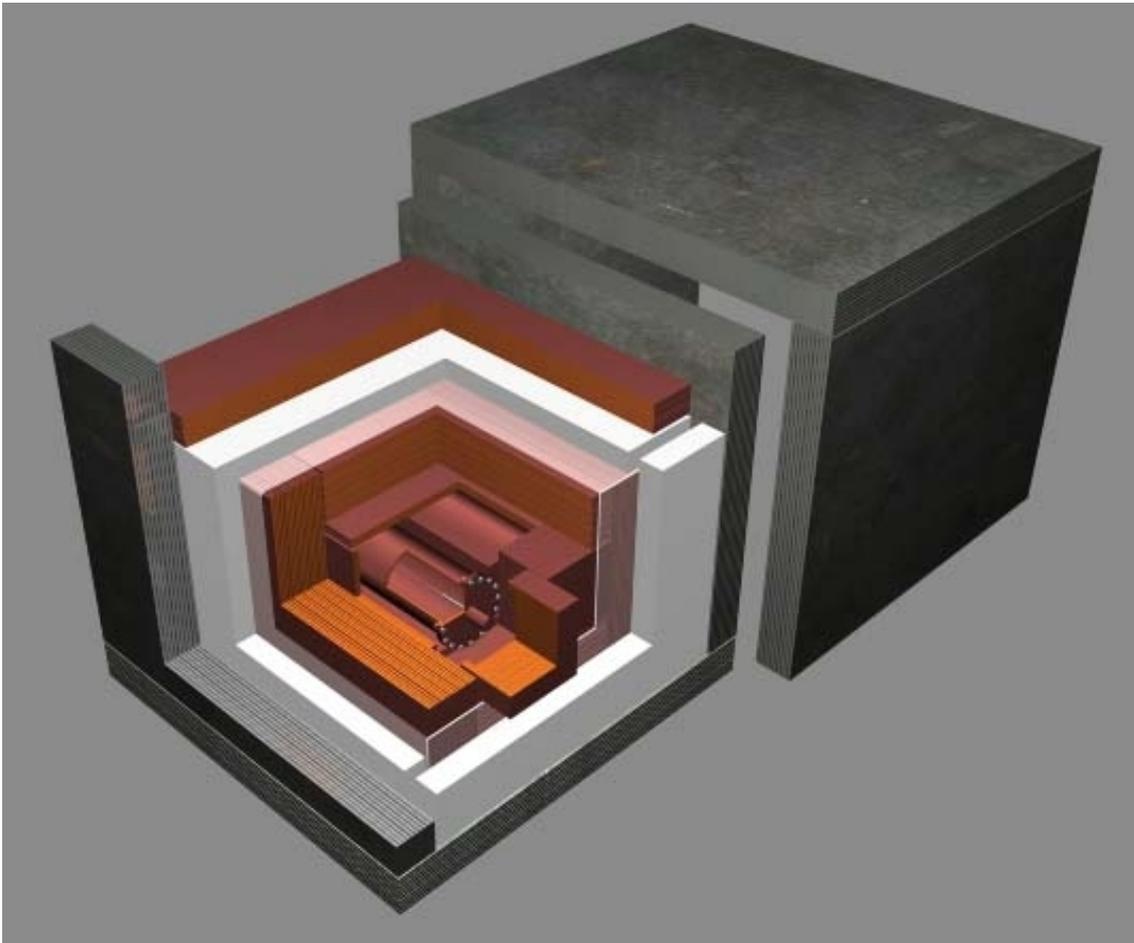


Рис. 3. Схема низкофоновой защиты в разрезе:
- полость для пропорциональных счетчиков
- пассивная защита из 23 см свинца, 8 см полиэтилена и 20 см меди.

Ранее использовалась в эксперименте по поиску аксионов с медным пропорциональным счетчиком заполненным ^{83}Kr .

Ожидаемый фон счетчика

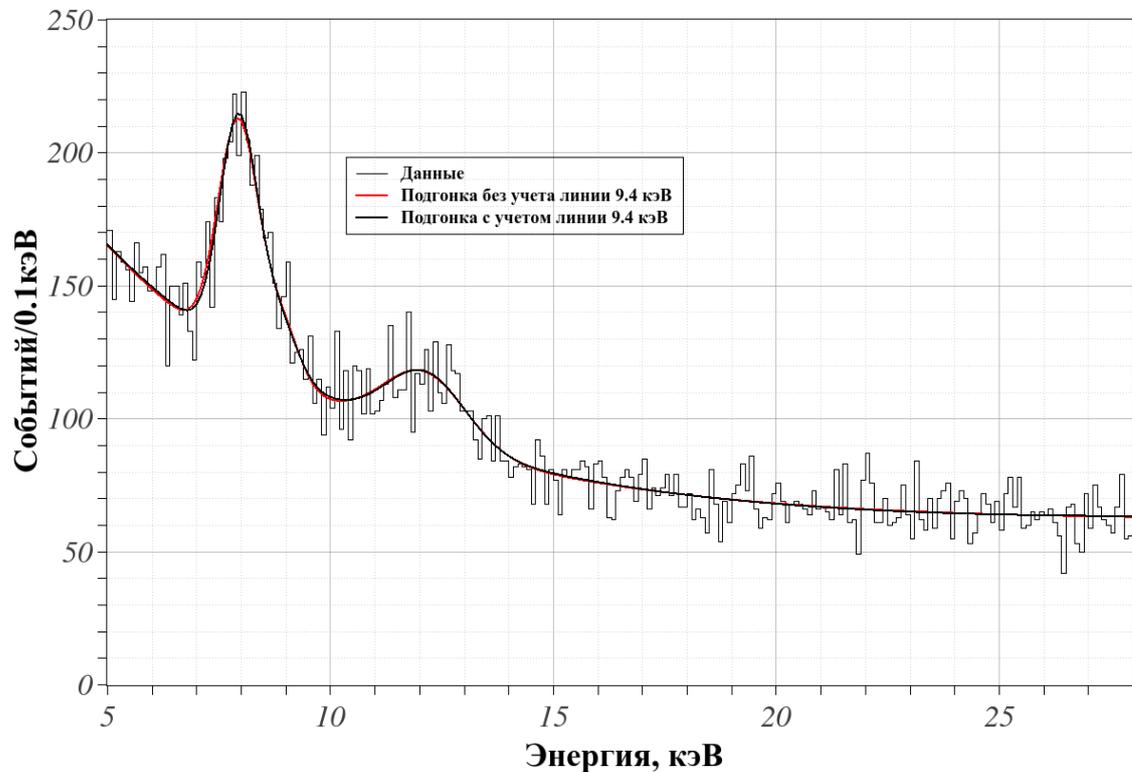


Рис. 4. Фон медного пропорционального счетчика объемом 8,77 л ($d=138$ мм) за 274,3 сут.

Разрешение для линии 12 кэВ составляет 2,2 кэВ \rightarrow **2,4 кэВ для линии 14,4 кэВ.**

За 1 год измерений ожидаем фон в области $14,4 \pm 2,0$ кэВ (95 %) на уровне:

$$B = 80 \cdot 40 \cdot 365 / 274,3 = 4258 \text{ соб.}$$

Ожидаемый результат за 1 год измерений

Из всех рожденных фотонов из катода в рабочий объем счетчика влетит примерно 10% из катода толщиной 50 мкм. Рабочая длина счетчика 50 см, полезная толщина железа 50 мкм. Масса железа составит 30 г. Из них Fe-57 -- 0,65г., т. о., количество атомов Fe-57 составит $7,1 \cdot 10^{21}$ атомов. Выход флуоресценции 0,105.

Количество захватов аксионов в детекторе за год:

$$R = 9,29 \cdot 10^{-34} \cdot 7,1 \cdot 10^{21} \cdot 3,15 \cdot 10^7 = 2,1 \cdot 10^{-4} \cdot m_A^4$$

$$R = 5,16 \cdot 10^{-3} \cdot (g_{AN}^3 - 1,19 \cdot g_{AN}^0)^4 \cdot 7,1 \cdot 10^{21} \cdot 3,15 \cdot 10^7 = 1,2 \cdot 10^{27} \cdot (g_{AN}^3 - 1,19 \cdot g_{AN}^0)^4$$

Общее количество регистрируемых аксионов в год должно превысить (90% УД):

$$110 = N_A = R \cdot 0,105 \cdot 0,1 = 2,2 \cdot 10^{-6} \cdot m_A^4$$

$$110 = N_A = R \cdot 0,105 \cdot 0,1 = 1,3 \cdot 10^{25} \cdot (g_{AN}^3 - 1,19 \cdot g_{AN}^0)^4$$

Ожидаемый пределы:

Т.о. чувствительность за 1 год измерений с одним счетчиком с катодом из железа природного состава:

$$m_A \leq 85 \text{ эВ};$$

$$|g^3_{AN} - 1,19 * g^0_{AN}| \leq 1,7 * 10^{-6}.$$

В случае использования обогащенного Fe-57 до 96%, чувствительность за год измерений с одним счетчиком будет:

$$m_A \leq 31 \text{ эВ};$$

$$|g^3_{AN} - 1,19 * g^0_{AN}| \leq 6,5 * 10^{-7}.$$

Изотоп	Содержание в фотосфере, $\log_{10} s$ (нормировано к $\log_{10} s(H)=12.00$)	1-й уровень возбуждения, кэВ (тип уровня)
Fe-57	5.78	14.41 (M1+E2)
Kr-83	2.34	9.40 (M1+E2)

Публикация (изотоп)		Результат
1	F.A. Danevich et al., arXiv:nucl-ex/0811383v2 (Fe-57)	$\leq 1,6$ кэВ
2	Z. Akhmatov et al., Phys. Part. Nuclei 49, 599–601 (2018) (Kr-83)	≤ 65 эВ
3	A.V. Derbin et al., Eur. Phys. J. C (2009) 62:755-760 (Fe-57)	≤ 159 эВ
4	Ожидаемый в данной работе результат (Fe-57)	≤ 31 эВ