

# **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<sup>†</sup>

*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 $^{57}\text{Fe}$

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  $^{57}\text{Fe}$  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.  $^{57}\text{Fe}$  может быть подходящим аксионным излучателем по следующим причинам: (i)  $^{57}\text{Fe}$  имеет переход M1 между первым возбужденным состоянием и основным состоянием; (ii) энергия первого уровня возбуждения  $^{57}\text{Fe}$  составляет 14,4 кэВ, что не слишком велико по сравнению с температурой в центре Солнца ( $\approx 1,3$  кэВ) [9]; и (iii)  $^{57}\text{Fe}$  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 $^{57}\text{Fe}$ 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  $^{57}\text{Fe}$  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  $^{57}\text{Fe}$  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.

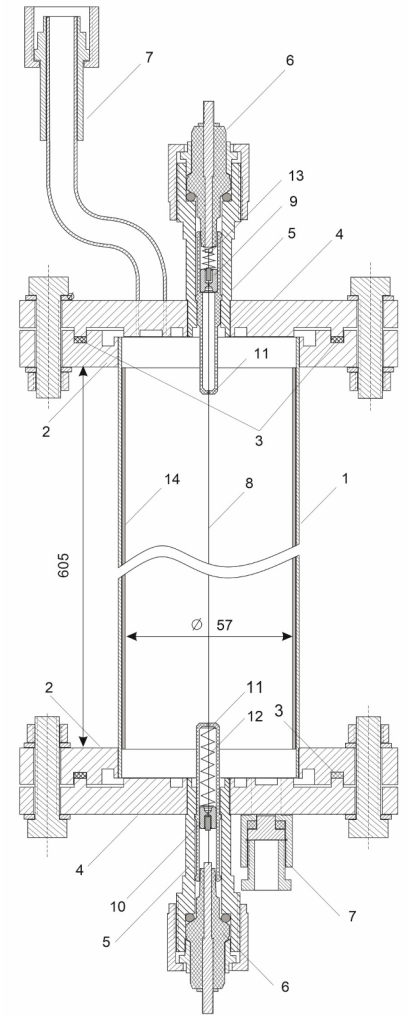
Задача состоит в регистрации гамма-квантов с энергией 14.4 кэВ возникающих при снятии возбуждения в ядрах  $^{57}\text{Fe}$ . Кроме того, есть возможность регистрировать так же и конверсионные электроны, вылетающие с поверхности катода.

Рис. 1. Корпус пропорционального счетчика

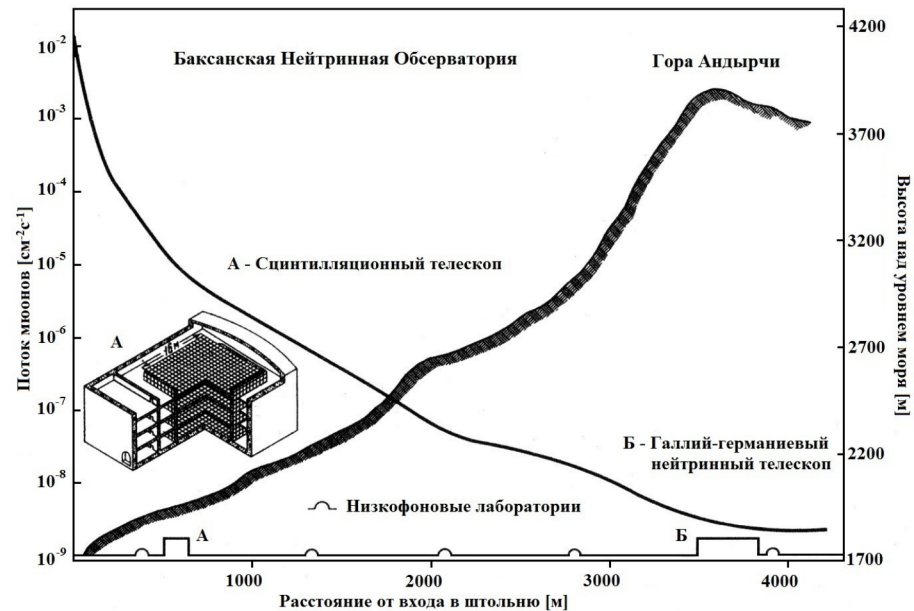
# Параметры пропорционального счетчика

- 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

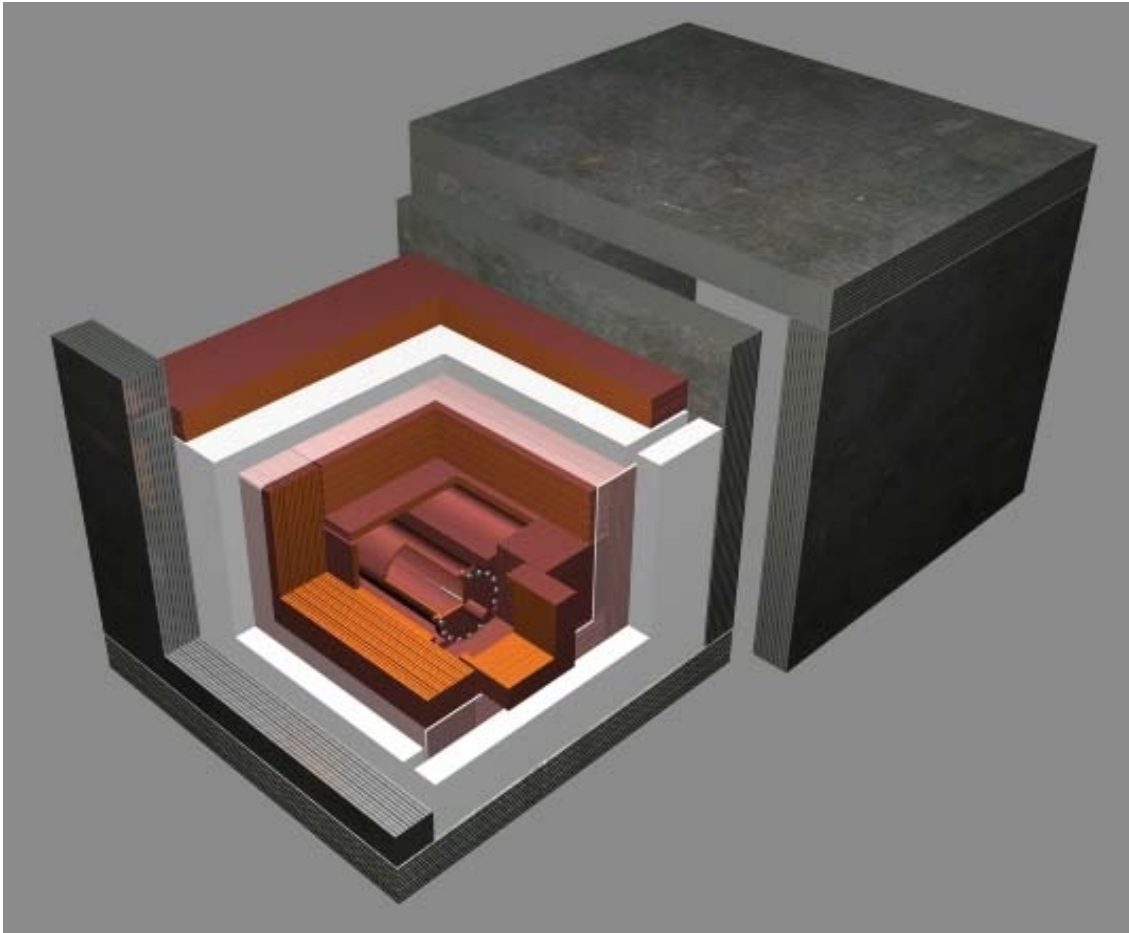


Рис. 3. Схема низкофоновой защиты в разрезе:  
- полость для пропорциональных счетчиков  
- пассивная защита из 23 см свинца, 8 см полиэтилена и 20 см меди.

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



# Ожидаемый фон счетчика

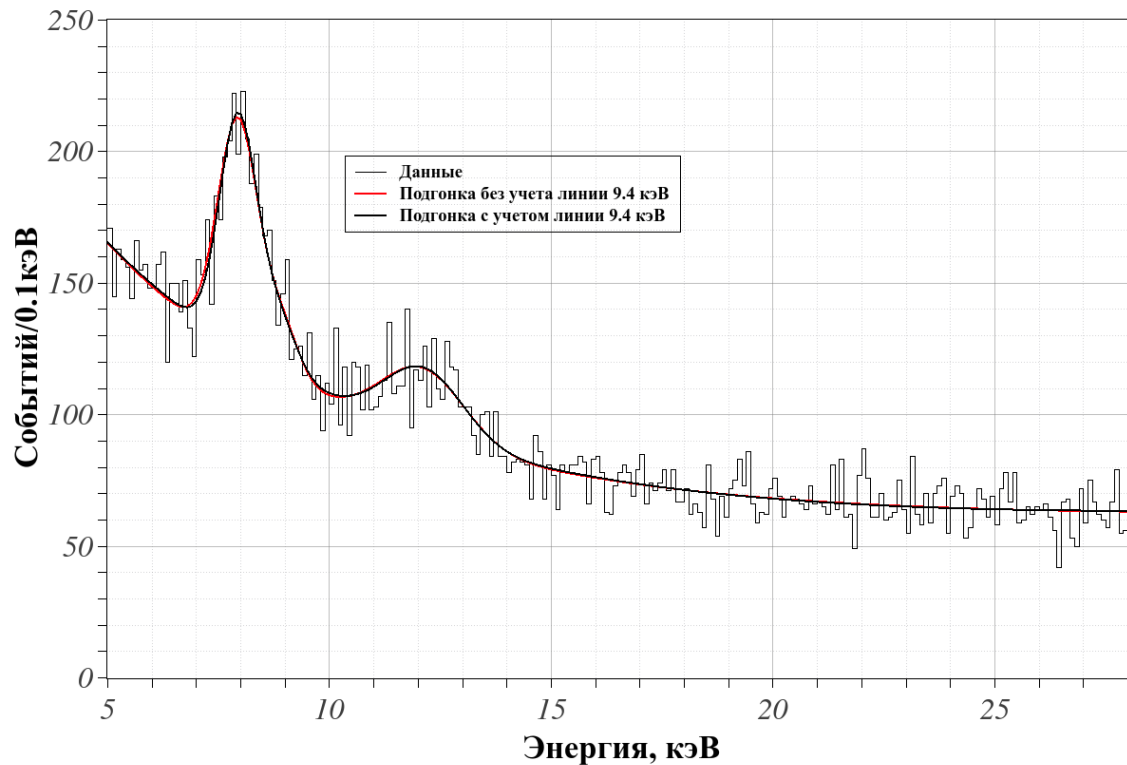


Рис. 4. Фон медного пропорционального счетчика объемом 8,77 л ( $d=138$  мм) за 274,3 сут.

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:

$$m_A \leq 85 \text{ эВ};$$

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

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

$$m_A \leq 31 \text{ эВ};$$

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

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)	$\leq 65$ эВ
3	A.V. Derbin et al., Eur. Phys. J. C (2009) 62:755-760 (Fe-57)	$\leq 159$ эВ
4	<b>Ожидаемый в данной работе результат (Fe-57)</b>	<b><math>\leq 31</math> эВ</b>