

ПОСЛЕДНИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ПОИСКУ ТЕМНЫХ ФОТОНОВ С ПОМОЩЬЮ МУЛЬТИКАТОДНОГО СЧЕТЧИКА

© 2023 г. А. В. Копылов^{1)*}, И. В. Орехов¹⁾, В. В. Петухов¹⁾

Поступила в редакцию 21.06.2023 г.; после доработки 21.06.2023 г.; принята к публикации 22.06.2023 г.

Описана методика измерений, проведенных на мультикатодном счетчике с катодом, изготовленным из железа. Эксперимент проводился с целью поиска суточных вариаций скорости счета одиночных электронов, эмитируемых с поверхности катода при конверсии темных фотонов на его поверхности. Приведены результаты, полученные за 160 сут измерений.

DOI: 10.31857/S0044002723060144, EDN: OSFKFQ

1. ВВЕДЕНИЕ

Согласно современным представлениям, темная материя составляет примерно 84% массы Вселенной [1]. Нам известно, что темная материя существует, но какова ее природа, это пока для нас загадка. Разгадать ее — это наиважнейшая задача современной физики. Работы по этому направлению ведутся многими лабораториями, но пока получены только ограничения на параметры моделей. Одними из возможных кандидатов на темную материю являются скрытые фотоны [2–6]. Нами была разработана методика поиска темных фотонов с использованием мультикатодного счетчика [7, 8]. Данная методика позволяет также выделить направление вектора поляризации темного фотона по суточным вариациям скорости счета одиночных электронов, если векторы электрического или магнитного поля темных фотонов имеют определенную выстроенность в звездной или солнечной системе. Существенным моментом является то, что вследствие вращения Земли суточные вариации должны быть симметричны относительно момента, когда вектор электрического или магнитного поля лежит в плоскости меридиана, где расположена лаборатория. Конкретный вид кривой суточных вариаций зависит от модели, которая заложена в основу этого явления, но сам факт симметрии должен наблюдаться даже в случае, если конкретный вид угловой зависимости отличается от используемого в конкретной модели. Учитывая тот факт, что строгой теории темного фотона пока еще не существует, мы должны быть готовы к тому, что реальный вид вариационной кривой может оказаться для нас неожиданным. Можно рассчитывать, что, поскольку длительность суток в солнечной системе

составляет 24 ч, а в звездной — 23 ч 56 мин, это отличие можно будет использовать как аргумент в защиту того, что наблюдаемые вариации действительно своим источником имеют темные фотоны [9, 10].

2. ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

Использовался цилиндрический детектор в качестве пропорционального счетчика с катодом из железа. Счетчик заполнялся смесью $\text{Ne} + \text{CH}_4$ (10%) при давлении 0.1 МПа. Детектор располагался на первом этаже здания, расположенного в г. Троицк (г. Москва) на широте 55.46°N в боксе с защитой из стали примерно 300 мм толщиной и слоем борированного полиэтилена 100 мм. Сталь защищала детектор от окружающего гамма-излучения, борированный полиэтилен — от тепловых нейтронов [7, 8]. Детектор располагался в горизонтальном положении, ось детектора была направлена под углом 23° к направлению Север–Юг. На рис. 1 изображены ожидаемые суточные вариации скорости счета, если эффект пропорционален $\cos^2 \theta$, здесь θ — угол между вектором электрического поля темных фотонов и нормалью к поверхности счетчика. Такой вид угловой зависимости был принят как наиболее вероятный, когда электрическое поле направлено перпендикулярно поверхности катода. Поскольку строгой теории скрытых фотонов пока не существует, нельзя исключить, что реальный вид угловой зависимости может быть другим. Если в эксперименте будет обнаружен эффект от темных фотонов, этот вопрос может быть подробно исследован. Ожидаемые кривые суточных вариаций зависят также от положения детектора (вертикальный, горизонтальный, ориентированный с Севера на Юг или с Запада на Восток), географической широты места,

¹⁾Институт ядерных исследований РАН, Москва, Россия.

*E-mail: kopylov@inr.ru

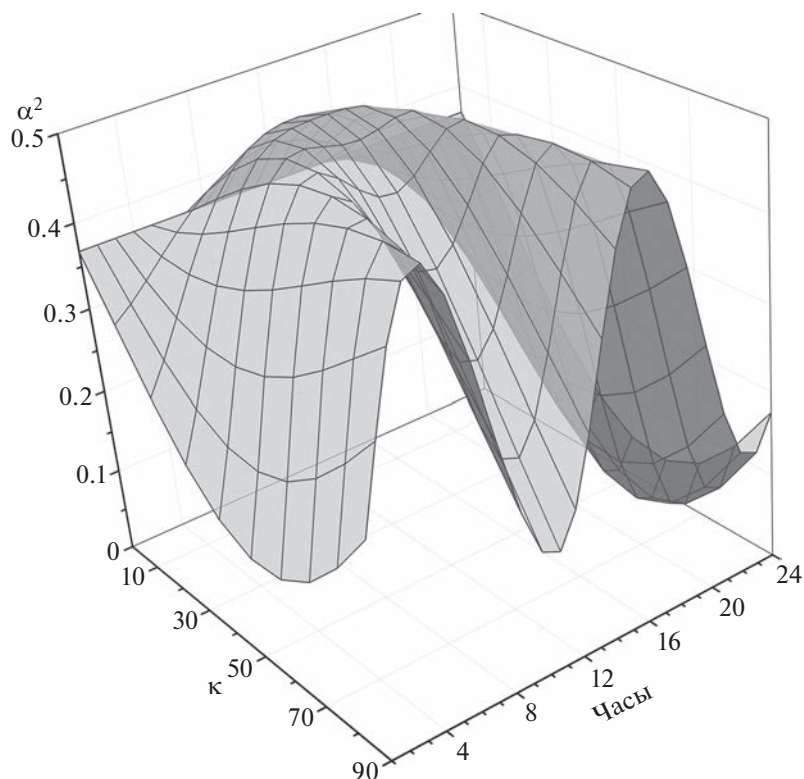


Рис. 1. Суточные вариации вследствие вращения Земли. Здесь $\alpha^2 = \cos^2 \theta$, κ — угол между вектором электрического поля и осью вращения Земли. Счетчик расположен горизонтально под углом 23° по отношению к оси Север—Юг.

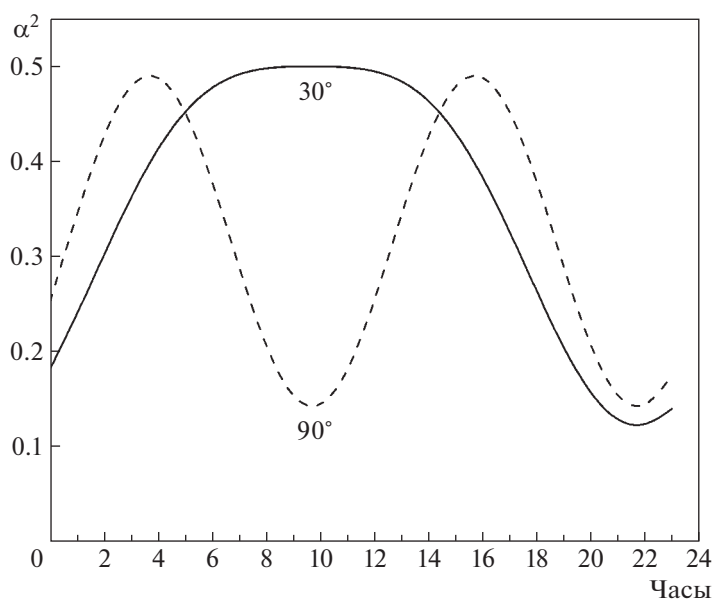


Рис. 2. Суточные вариации при $\kappa = 30$ и 90 градусов.

где расположен детектор, и качества внутренней поверхности катода (зеркальная или матовая) [11–13]. На рис. 2 изображены “срезы” этого распределения при двух углах между вектором электрического поля темного фотона и осью вращения Зем-

ли: 30° и 90° . Здесь за время 00 : 00 принимается момент, когда вектор электрического поля темных фотонов лежит в плоскости меридиана г. Москва, где проводится эксперимент.

Измерения проводились круглосуточно, за 1 сут

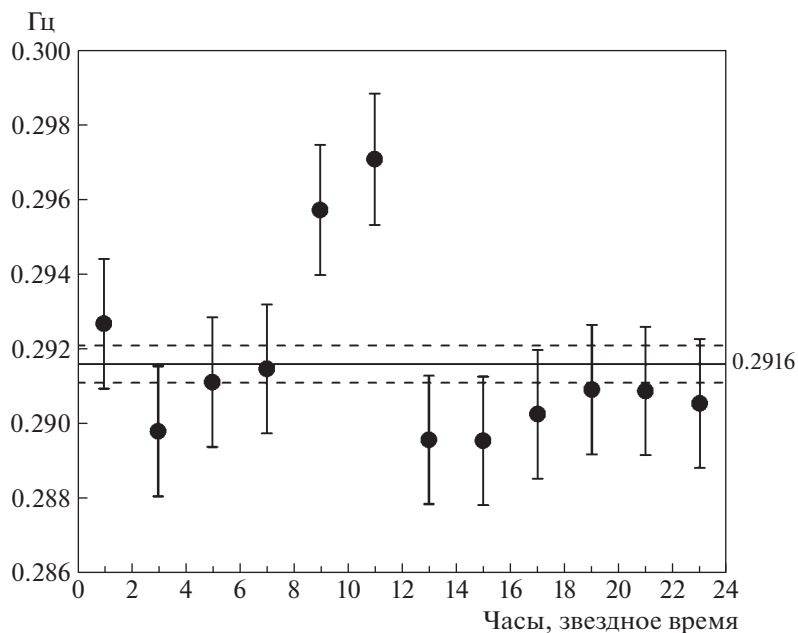


Рис. 3. Суточные вариации для звездных суток.

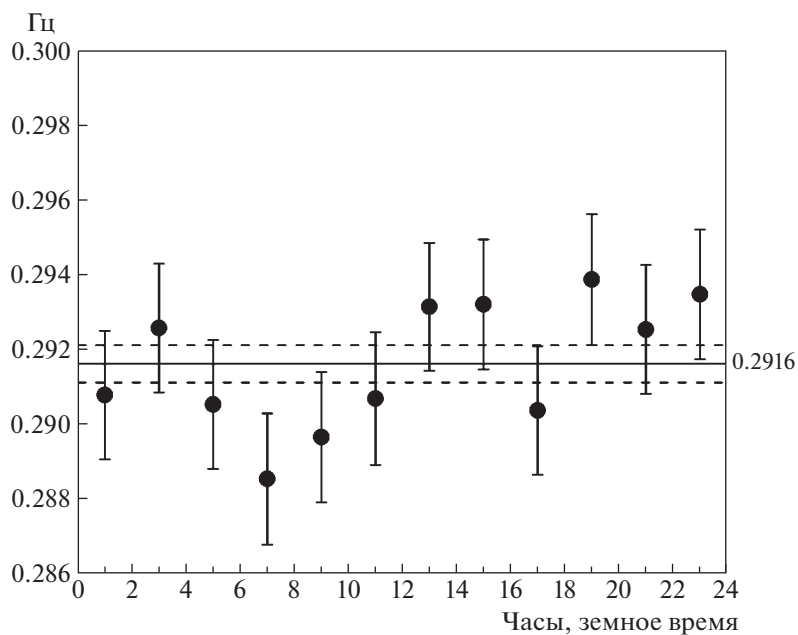


Рис. 4. Суточные вариации для земных суток.

получали примерно 1 Тб данных. Оцифровывалось с дискретностью 100 нс мгновенное значение подаваемого на вход АЦП сигнала с выхода зарядочувствительного предусилителя. Обработка проводилась в режиме офлайн. Отбирались события с амплитудой импульса в диапазоне от 3 до 50 мВ в качестве кандидатов на одноэлектронные импульсы. Сравнивалась форма импульса со стандартной. Импульсы с искаженной формой отбрасывались.

Всего было получено данных за 160 сут изме-

рений. Измерения прерывались для калибровки и для контрольного счета в конфигурации 2, когда измерялся только фон счетчика. Затем полученные скорости счета группировались в интервалы длительностью 2 ч в солнечных и звездных сутках. Далее строились соответствующие временные распределения. На рис. 3 изображено полученное временное распределение для звездных суток и на рис. 4 — для земных суток.

Из рис. 3 видно, что в интервале с 8 до 12 ч

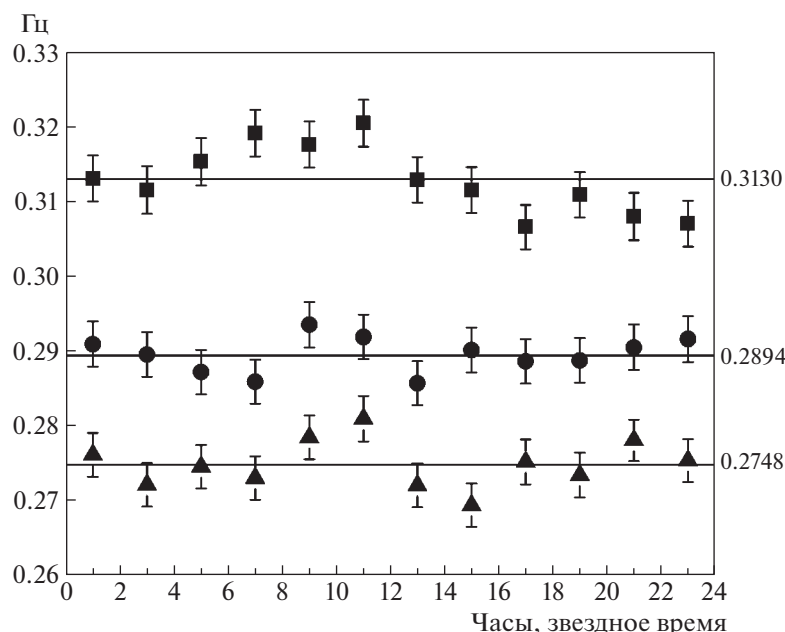


Рис. 5. Суточные вариации по массиву данных за 160 сут измерений для трех последовательных временных серий звездных суток (1645 точек по 2-часовому интервалу измерения каждая).

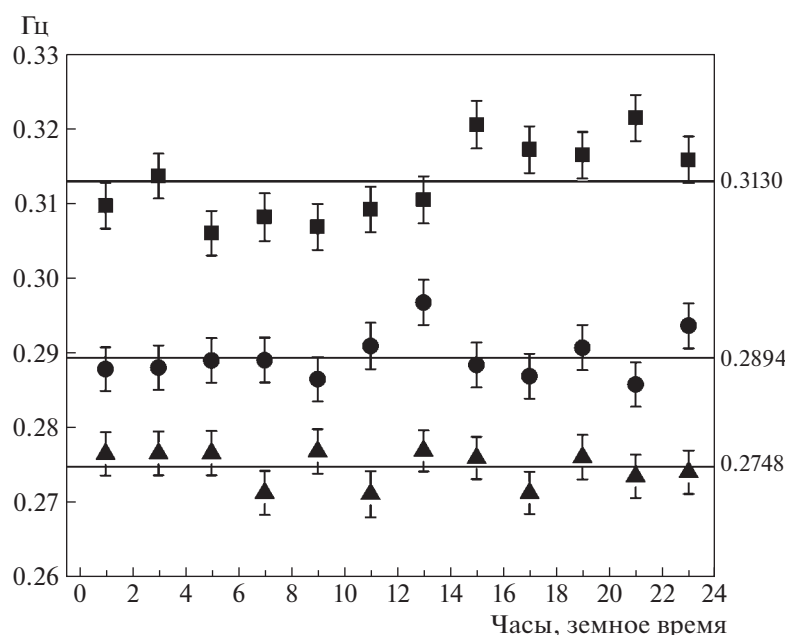


Рис. 6. Суточные вариации по массиву данных за 160 сут измерений для трех последовательных временных серий земных суток (1645 точек по 2-часовому интервалу измерения каждая).

звездного времени наблюдается значительное превышение над средним. На рис. 4 подобного превышения не наблюдается. Для более детального рассмотрения этого эффекта нами были построены суточные вариации для каждой из трех более коротких серий. Первая и вторая были построены по 548 точкам, третья — по 549 точкам. На рис. 5 изображены соответствующие распределения для

звездных суток, на рис. 6 — для земных суток. Как видно из рис. 5, наблюдается систематическое превышение событий в интервале с 8 : 00 до 12 : 00 звездного времени во всех трех сериях измерений. По оценке достоверность этого результата — на уровне 3.5σ . Для земных суток подобного не наблюдается, как это видно из рис. 6.

3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Измерены скорости счета одноэлектронных импульсов с помощью мультикатодного счетчика. По результатам, полученным за 160 сут измерений (1645 точек), построены суточные вариации в звездных и земных сутках с разбивкой по двухчасовому интервалу. Построены временные распределения для вариаций для трех примерно равных серий измерений. В распределении для звездных суток систематически наблюдается существенное превышение над средним в интервале от 8 : 00 до 12 : 00 звездного времени. По оценке достоверность наблюдаемого эффекта — на уровне 3.5σ . Для земных суток подобного эффекта не наблюдается. Планируется продолжить измерения с целью увеличения достоверности наблюдаемого эффекта.

Авторы выражают благодарность Министерству науки и высшего образования за существенную поддержку в рамках “Программы обновления приборной базы” по государственному проекту “Наука”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. N. Aghanim, Y. Akrami, M. Ashdown, J. Aumont, C. Baccigalupi, M. Ballardini, A. J. Banday, R. B. Barreiro, N. Bartolo, S. Basak, R. Battye, K. Benabed, J.-P. Berenard, M. Bersanelli, P. BieleWicz, J. J. Bock, *et al.*, *Astron. Astrophys.* **641**, 67 (2020); arXiv: 1807.06209.
2. P. Fayet, *Nucl. Phys. B* **187**, 184 (1981).
3. L. B. Okun, *Sov. Phys. JETP* **56**, 502 (1982).
4. H. Georgi, P. H. Ginsparg, and S. L. Glashow, *Nature* **306**, 765 (1983).
5. V. Dzhunushaliev and V. Folomeev, *Phys. Rev. D* **104**, 116027 (2021).
6. V. Dzhunushaliev and V. Folomeev, *Phys. Rev. D* **105**, 016022 (2022).
7. A. Kopylov, I. Orekhov, and V. Petukhov, *Nucl. Instrum. Methods A* **910**, 164 (2018).
8. A. Kopylov, I. Orekhov, and V. Petukhov, *JCAP* **07**, 008 (2019).
9. A. Kopylov, I. Orekhov, and V. Petukhov, *Phys. Part. Nucl.* **52**, 31 (2021).
10. A. Kopylov, I. Orekhov, and V. Petukhov, *Particles* **5**, 180 (2022).
11. A. Kopylov, I. Orekhov, and V. Petukhov, *Phys. At. Nucl.* **84**, 860 (2021).
12. A. V. Kopylov, I. V. Orekhov, and V. V. Petukhov, *Phys. At. Nucl.* **85**, 673 (2022).
13. A. Kopylov, I. Orekhov, and V. Petukhov, *Moscow Univ. Phys. Bull.* **77**, 315 (2022).

LATEST RESULTS ON THE SEARCH OF DARK PHOTONS WITH A MULTI-CATHODE COUNTER

A. V. Kopylov¹⁾, I. V. Orekhov¹⁾, V. V. Petukhov¹⁾

¹⁾ *Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

The method of measurements is described that has been performed using a multi-cathode counter with an iron cathode. The aim of experiment was to search for diurnal variations of the count rate of single electrons emitted from the surface of the cathode by the conversion of dark photons on its surface. The results obtained during 160 days of measurements are presented.