

ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА



H-636

P3 - 11652

В.Г.Николенко, А.Б.Попов, Г.С.Самосват

4644/2-78

ПОИСКИ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ АНИЗОТРОПИИ
СКОРОСТИ СВЕТА И СКОРОСТИ НЕЙТРОНОВ

1978

РЗ - 11652

В. Г. Николенко, А. Б. Попов, Г. С. Самосват

ПОИСКИ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ АНИЗОТРОПИИ
СКОРОСТИ СВЕТА И СКОРОСТИ НЕЙТРОНОВ

Направлено в ЖЭТФ



Николенко В.Г., Попов А.Б., Самосват Г.С.

P3 - 11652

Поиски относительной анизотропии скорости света
и скорости нейтронов

В зависимости от времени суток измерялась разность времен пролета нейтронами и γ -квантами одной и той же базы длиной 1000 м. Установлено, что амплитуда суточных колебаний разности, составляющей в среднем 130 мкс, не превышает 1 нс. Это означает, что по всем направлениям, которые в пространстве принимает пучок вследствие вращения Земли, в предположении изотропии одной из скоростей анизотропия другой менее $\sim 3 \cdot 10^{-4}$ для γ -лучей и $\sim 7 \cdot 10^{-6}$ для нейтронов. Последняя оценка позволяет получить верхний предел для анизотропии инертной массы свободного нейтрона, а также для параметра анизотропии пространства в теории Богословского^{/13/}.

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1978

Nikolenko V.G., Popov A.B., Samosvat G.S.
Search for Relative Anisotropy of the Velocities of
Light and Neutrons

The dependence on day time of the difference in time it takes the neutron and gamma-quanta to fly along one and the same flight path 1000 m long was measured. It was found that the difference which is on average 130 μ sec has the amplitude of changes per day not higher than 1 nsec. It means that in all the directions the beam propagates due to the rotation of the earth the anisotropy of one of the velocities is less than $\sim 3 \cdot 10^{-4}$ for gamma-rays and $\sim 7 \cdot 10^{-6}$ for neutrons under supposition that the other one is isotropic. The latter estimate allows to obtain the upper limit for the anisotropy of the inertial mass of a free neutron as well as the parameter of the space anisotropy in the Bogoslovsky theory^{/13/}.

The investigation has been performed at the Neutron Physics Laboratory, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1978

1. В литературе постоянно обсуждаются попытки найти наилучшее или альтернативное описание известных физических фактов или же объяснить некоторые неожиданные экспериментальные результаты с помощью теорий и моделей, в которых пространство наделяется свойством анизотропии. В самом деле, не может быть априорных оснований считать пространство изотропным. Вполне возможно, что принятая сейчас изотропность является только приближенной.

Между тем непосредственные и точные данные о кинематической изотропности пространства практически ограничены результатами опыта Майкельсона и его современных аналогов, а также рядом исследований, описанных в обзоре^{/1/}, в которых искалась анизотропность инертной массы из-за принципа Маха в соответствии с моделью Коккони и Солпитера^{/2/}. При этом существенно, что обе группы опытов чувствительны только во втором порядке к анизотропии $\Delta f/f_0$ скорости /в первом случае/ или массы /во втором/, если одна из них имеет угловую зависимость

$$f(\theta) = f_0 + \Delta f \cos \theta, \quad /1/$$

где θ - угол между направлением движения и выделенным направлением. Однозначно же извлечь степень допустимой анизотропии пространства из данных астрономии, космических исследований, ускорительной техники трудно, так как все расчеты в этих областях основаны и на многих других физических принципах. Кроме того, точности таких данных сравнительно невелики и,

как показывают грубые оценки, не исключают анизотропии скорости небесных тел порядка 10^{-6} - 10^{-5} и скорости ускоряемых частиц - 10^{-4} - 10^{-3} . Поэтому нужны специальные опыты, проверяющие изотропность пространства по возможности в чистом виде и с большей точностью.

2. В настоящей работе предпринята попытка проверить, не зависит ли разница времен пролета* одной и той же базы γ -квантами и нейтронами, рождающимися одновременно в одном и том же месте, от изменения ориентации этой базы в пространстве из-за суточного вращения Земли. Этот эксперимент имеет особенность - база пробегается в нем только в одну сторону, поэтому он - первого порядка в упомянутом выше смысле, а это возможно только потому, что в нем участвуют два сигнала разной природы. Дело в том, что из-за невозможности мгновенно передать информацию на расстояние для измерения скорости движения на незамкнутом пути требуется специальное определение одновременности в пространственно-разделенных точках старта и финиша. В таком определении необходимо принять за эталон скорость какого-либо сигнала; следовательно, измерить угловую зависимость любой скорости в первом порядке можно лишь относительно другой, угловая зависимость которой считается известной. Поэтому сама постановка вопроса об экспериментальном измерении анизотропии скорости света при пробеге базы в одну сторону лишена смысла.

Подробное рассмотрение этого вопроса и критику некоторых некорректных экспериментов /см. напр, ссылки /19,21-24,30,33/ обзора /3/ /, авторы которых стремились проверить изотропность скорости света, можно найти в работах /4-6/. Там же и в /7-10/ показана возможность ввести /при соответствующей конвенции об угловой зависимости эталонной скорости/ анизотропию в кинематику всех физических процессов, которая, однако, ненаблюдаема в принципе. Напротив, относитель-

* Фактически мы интересуемся разностью времен "прилета", т.е. промежутком времени в одной точке.

ная анизотропия двух физических процессов не связана с конвенцией и может являться предметом экспериментального исследования. Наблюдение ненулевого эффекта в описываемом эксперименте означало бы неэквивалентность инерциальных систем отсчета, связанных с Землей и имеющих разную ориентацию относительно звезд, и в этом смысле явилось бы нарушением принципа относительности.

3. Вопрос о возможных нарушениях специальной теории относительности при очень малых пространственно-временных масштабах был проанализирован Блохинцевым /11/; им, в частности, показано, что для описания поведения частиц возможен подход, при котором в четырехмерном пространстве-времени вводится выделенное направление n , следовательно, нарушается релятивистская инвариантность. Естественно ожидать, что на различных частицах анизотропия может сказываться по-разному. Так, в работе /12/ вводится некое "космическое" поле /с его помощью, в частности, можно объяснить нарушение СР-инвариантности в распаде K_2^0 -мезонов/, а в работах /13/ пространству приписывается некое выделенное направление с целью объяснить отсутствие обрыва спектра первичных космических частиц при энергии $\sim 5 \cdot 10^{19}$ эВ за счет взаимодействия с реликтовым излучением. В обеих теориях фотоны подчиняются обычным законам, а энергия частицы, имеющей массу покоя, зависит от ориентации спина частицы в первой теории и ее скорости - во второй. Настоящий эксперимент может служить непосредственной проверкой "специальной теории относительности в локально анизотропном пространстве", развитой Богословским /13/, в которой кинетическая энергия частицы с массой m и скоростью \vec{v} приближенно записывается в виде

$$W = (1-\gamma) \frac{mv^2}{2} + \gamma(1-\gamma) \frac{m(\vec{v} \cdot \vec{n})^2}{2}, \quad /2/$$

где \vec{n} - единичный вектор выделенного направления, γ - параметр, характеризующий степень анизотропии пространства.

4. Эксперимент состоял в периодическом 4-часовом измерении спектров времени пролета γ -лучами и нейтронами базы 1000 м. В качестве детектора γ -квантов и нейтронов использовалось литиевое стекло. Измерения проводились на импульсном реакторе ОИЯИ в бустерном режиме при полуширине вспышки излучения около 3 мкс. Для монохроматизации нейтронов применялся толстый фильтр из железа, дающий острые пики в спектре, соответствующие интерференционным минимумам в полном сечении. С целью получения оптимального соотношения интенсивностей γ -квантов и нейтронов сечение пучка на 2/3 перекрывалось железом и на 1/3 - парафином. Фильтры располагались на расстоянии 70 м от реактора и имели толщину ~25 см. Главные участки одного из 33 спектров, регистрировавшихся анализатором с шириной канала 125 нс, показаны на рис. 1, на котором виден пик γ -лучей и нейтронные пики с указанными энергиями в кэВ.

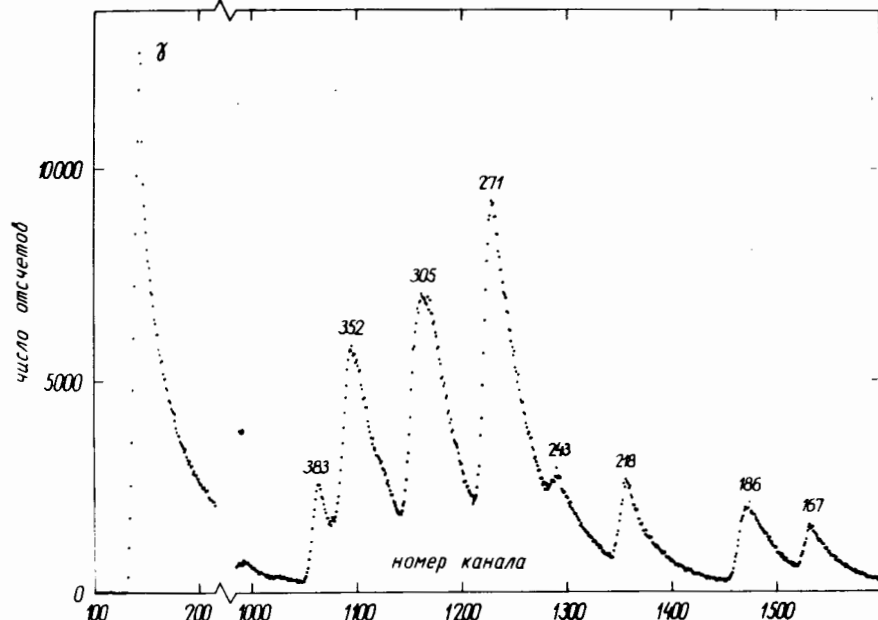


Рис. 1. Один из 33 временных спектров γ -лучей и нейтронов, измеренный за 4 ч с шириной канала анализатора 125 нс. Энергии нейтронных пиков указаны в кэВ.

Результаты эксперимента показаны на рис. 2. Вверху изображен дрейф положения на временной шкале анализатора γ -пика /темные точки/ и нейтронных пиков /светлые точки/, обусловленный нестабильностью временного интервала от старта анализатора до вспышки реактора. Положение пика определялось путем аппроксимации его фронта кубической параболой; для нейтронных пиков вычислялись взвешенные по 13 пикам флуктуации относительно среднего положения каждого пика. Разности сдвигов пиков, изображенных наверху, показаны на том же рисунке внизу. Поскольку точки представлены разбросанными около нуля, по степени их отклонения от оси абсцисс можно судить о том, насколько постоянна разность времен пролета нейтронов и γ -лучей. Мы проанализировали возможность и

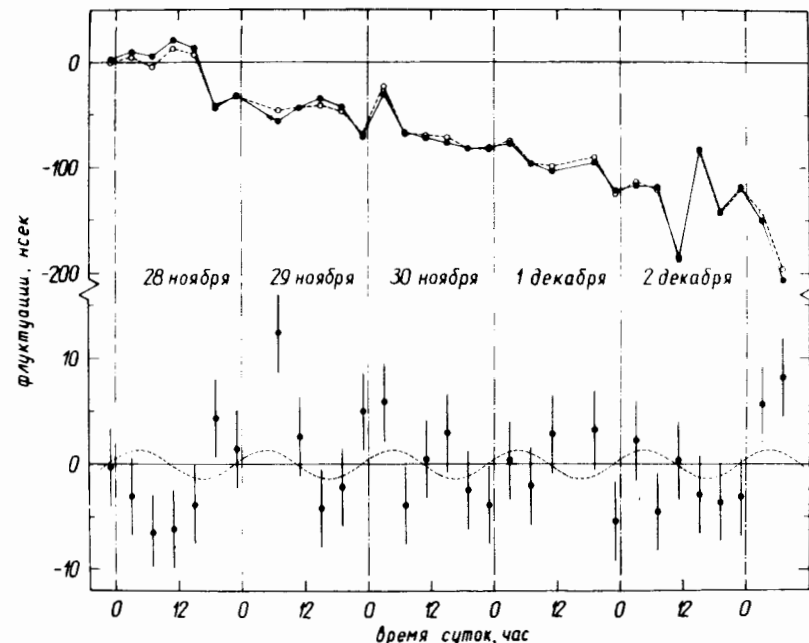


Рис. 2. Вверху - дрейф положения на временной шкале анализатора γ -пика /темные точки/ и нейтронных пиков /светлые точки/ относительно их положений в первом измеренном спектре. Внизу - разности флуктуаций, изображенных наверху; представлены разбросанными около нуля.

другого простейшего поведения ее во времени - синусоидального с периодами $T = 24$ и 12 ч, описывая экспериментальные точки формулой

$$r = \Delta r \sin \frac{2\pi}{T} (t - t_0), \quad /3/$$

где t - время суток.

Получившаяся с участием в подгонке всех точек синусоида с $T = 24$ ч проведена на рисунке пунктиром. В таблице приведены результаты различных подгонок / χ^2/n - значение χ^2 на одну точку/, которые позволяют сделать вывод о том, что суточные колебания интересующей нас разности времен пролета, составляющей в среднем 130 нс, ограничены амплитудой ~ 1 нс.

5. Итак, нулевой эффект в описанном эксперименте можно рассматривать как подтверждение принципа относительности в указанном ранее смысле /см. п.2/. Существенно, что такое подтверждение получено в прямом опыте с односторонним пробегом двух разных сигналов*.

Считая ход кварцевых часов анализатора не зависящим от ориентации их в пространстве** и определяя время в разных точках, можно высказать суждения и о скоростях. При традиционном определении одновременности, принятом в теории относительности /и предполагающем изотропность скорости света/, полученный результат означает, что скорость нейтронов изотропна с точностью $\sim 7 \cdot 10^{-6}$. Основываясь далее на том, что энергия нейтронных пиков не должна меняться из-за изменения ориентации железного фильтра, содержащего неориентированные ядра, можно получить экспериментальные пределы для анизотропии инертной массы свободного нейтрона $\Delta m/m_0$ и параметра анизотропии пространства в теории Богословского^{13/}.

* По-видимому, аналогичную информацию со светом и электронами с энергией 11 ГэВ могли получить авторы работы^{14/}. Но цель этой работы была иной, и из того, что опубликовано, сказать что-либо о суточной вариации разности времен пролета электронов и фотонов невозможно.

** См. работу^{15/} и ее интерпретацию^{1/}.

Таблица

Подгонка	T = 24 ч		T = 12 ч		прямая		
	Δr , нс	t_0 , ч	χ^2/n	Δr , нс		t_0 , ч	χ^2/n
все точки	$1,4 \pm 1,0$	23 ± 3	1,4	$0,6 \pm 0,9$	2 ± 3	1,4	1,4
без точки 7 ч 29. XI	$0,9 \pm 1,0$	21 ± 4	1,1	$0,8 \pm 1,0$	-1 ± 2	1,1	1,1
без точек 7 ч 29. XI и 3. XII	$0,8 \pm 1,0$	18 ± 5	0,9	$1,3 \pm 1,0$	-1 ± 2	0,9	1,0
без всех точек 29. XI и 3. XII	$0,8 \pm 1,1$	14 ± 5	0,8	$1,3 \pm 1,1$	0 ± 2	0,8	0,9

При отличии от нуля одной из этих величин и при фиксированной фильтром кинетической энергии нейтрона время его пролета представляет собой с точностью до членов второго порядка одну из следующих функций времени суток:

$$r = r_0 \left(1 + \frac{1}{2} \frac{\Delta m}{m_0} \delta \sin \beta \cos \omega t \right), \quad /4/$$

$$r = r_0 \left[1 + \frac{1}{2} r \delta (\cos \alpha \cos \phi \sin 2\beta \cos \omega t + \frac{\delta}{2} \sin^2 \beta \cos 2\omega t) \right], \quad /5/$$

первая из которых получена в предположении, что масса нейтрона имеет угловую зависимость /1/ и связана со скоростью и кинетической энергией обычным соотношением, а вторая - что масса нейтрона постоянна, и для кинетической энергии имеет место соотношение /2/. В формулах /4/ и /5/ r_0 - обычное время пролета, $\alpha \approx 31^\circ$ - восточный азимут направления пучка,

$\phi \approx 56^\circ$ - широта Дубны, $\delta = \sqrt{1 - \cos^2 \alpha \cos^2 \phi} \approx 0,88$, β - угол между осью Земли и выделенным направлением, ω - угловая скорость вращения Земли, а ωt - угол между проекциями пучка и выделенного направления на плоскость экватора. Отсутствие 24-часового периодического эффекта позволяет, используя /4/, получить оценку

$$\frac{\Delta m}{m_0} \sin \beta < 2 \cdot 10^{-5}, \quad /6/$$

где, если выделено направление на центр нашей Галактики /2/, $\sin \beta \approx 0,87$. Если считать \vec{v} , как в /13/, перпендикулярным к плоскости эклиптики, то $\beta \approx 23,5^\circ$ и, согласно /5/, амплитуда 12-часовой составляющей r примерно впятеро меньше амплитуды 24-часовой. Тогда данные таблицы позволяют утверждать:

$$r < 5 \cdot 10^{-5}, \quad /7/$$

что, как и /6/, соответствует одной среднеквадратичной ошибке параметра Δr формулы /3/.

В связи с оценкой /6/ следует заметить, что все другие методы поисков анизотропии массы /1,16/ основаны исключительно на изучении периодов колебательных движений или квантовых переходов в атомах и ядрах, поиск же ее для свободных частиц ранее не проводился. Что касается параметра r , то для него имелась единственная оценка $r = /1,3 \pm 2,4/ \cdot 10^{-8}$, полученная в /13/ из наблюдения доплеровского сдвига мессбауэровской линии на центрифуге /17/ - чисто электромагнитного явления. В настоящем эксперименте проверено совсем иное и независимое следствие рассматриваемой теории, поэтому оценка /7/ может иметь самостоятельный интерес.

В принципе можно основываться на синхронизации часов путем посылки нейтронного сигнала. Если при этом скорости его принять одинаковыми для всех направлений, то тогда результат эксперимента означает, что скорость света изотропна с точностью $\sim 3 \cdot 10^{-4}$. На языке же долоренцевского эфира можно было бы сказать, что сделан эксперимент первого порядка, дающий для скорости "эфирного ветра" предел ~ 90 км/с.

Полученные оценки являются первыми результатами и не исчерпывают возможностей экспериментов, подобных описанному; их точность может быть повышена на 2-3 порядка.

Авторы очень благодарны В.Д.Шибяеву и И.П.Барабашу за большую помощь в подготовке электроники, Ю.А.Александрову, Д.И.Блохинцеву, В.Б.Брагинскому, В.Н.Руденко, А.А.Тяпкину и М.И.Широкову - за полезные обсуждения и замечания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хьюз В. "Принцип Маха и эксперименты по анизотропии массы". /В сб. Гравитация и относительность. "Мир", М., 1965/.
2. Cocconi G., Salpeter E.E. *Nuovo Cim.*, 1958, 10, p.646. *Phys.Rev.Lett.*, 1960, 4, p.176.
3. Страховский Г.М., Успенский А.В. *УФН*, 1965, 86, с.421.

4. Тяпкин А.А. ОИЯИ, 766, Дубна, 1961; УФН, 1972, 106, с.617.
Tjapkin A.A. *Lett. Nuovo Cim.*, 1973, 7, p.760.
5. Karlov L.A. *Austral.J.Phys.*, 1970, 23, p.243.
6. Stedman G.E. *Amer.J.Phys.*, 1972, 40, p.782; 1973, 41, p.1300.
7. Edwards W.F. *Amer.J.Phys.*, 1963, 31, p.482.
8. Winnie J.A. *Phil.Sci.*, 1970, 37, p.81; p.223.
9. Спрельцов В.Н. ОИЯИ, P2-6968, P2-7328, Дубна, 1973.
10. Beauregard L.A. *Found. Phys.*, 1977, 7, p.769.
11. Blokhintsev D.I. *Phys.Lett.*, 1964, 12, p.272;
Блохинцев Д.И. УФН, 1966, 89, с.185.
12. Phillips P.R. *Phys.Rev.*, 1965, 139B, p.491.
13. Богословский Г.Ю. ДАН, 1973, 213, с.1055;
Bogoslovsky G.Yu. *Nuovo Cim.*, 1977, 40B, p. 99; p. 116.
14. Brown B.C. e.a. *Phys.Rev.Lett.*, 1973, 30, p.763.
15. Essen L., Parry J.V.L., McA.Stelle J. *Proc. IEEE*, 1960, 107B, p.229.
16. Hoffmann W.F. *Bull.Am.Phys.Soc.*, 1963, 8, p.29.
17. Champeney D.C., Isaak G.R., Khan A.M. *Phys.Lett.*, 1963, 7, p.241.

Рукопись поступила в издательский отдел
12 июня 1978 года.