

# ВЛИЯНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ АНИЗОТРОПИИ ВСЕЛЕННОЙ НА ФЛУКТУАЦИИ ПОДВИЖНОСТИ ИОНОВ

А. Н. Морозов

*Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана*  
*amor@mx.bmstu.ru*

Проведены измерения флуктуаций подвижности ионов в малых объемах электролита, заключенного в тонких каналах диаметром 0,2...0,4 мкм, сделанных в лавсановой пленке толщиной 6 мкм. Приводятся результаты усреднения экспериментальных данных на периодах 1436 минут и показано наличие зависимости флуктуаций подвижности ионов от ориентации экспериментальной установки в пространстве. Сделан вывод об одноосной анизотропии пространства в направлении, близком к направлению на центр Галактики. Полученное значение относительной анизотропии составляет  $2...3 \cdot 10^{-6}$  относительных единиц, что в 2...3 раза превышает ожидаемое значение, связанное с искривлением пространства гравитационным полем Галактики.

**Ключевые слова:** анизотропия, флуктуации, подвижность, космология.

Пространственная анизотропия Вселенной является следствием искривления пространства-времени, которое в общей теории относительности описывается с помощью метрического тензора второго ранга  $g_{ik}$  [1]. В инерциальной системе отсчета при отсутствии гравитационного поля метрический тензор становится галилеевым и имеет компоненты:

$$g_{00}^{(0)} = 1, \quad g_{11}^{(0)} = g_{22}^{(0)} = g_{33}^{(0)} = -1, \quad g_{ik}^{(0)} \Big|_{i \neq k} = 0. \quad (1)$$

Для моделей финслеровой геометрии искривление пространства-времени задается метрическими тензорами более высокого ранга, что позволяет описывать более сложный характер искривления пространства-времени, чем в случае общей теории относительности [2].

При описании центрально-симметричного гравитационного поля пространственно-временная метрика имеет вид метрики Шварцшильда [1, 3]:

$$ds^2 = \left(1 - \frac{2\gamma M}{c^2 r}\right) c^2 dt^2 - \frac{dr^2}{1 - \frac{2\gamma M}{c^2 r}} - r^2 (\sin^2 \theta d\varphi^2 + d\theta^2), \quad (2)$$

где  $r, \theta, \varphi$  – координаты сферической системы координат,  $\gamma$  – гравитационная постоянная,  $M$  – масса создающего гравитационное поле тела,  $c$  – скорость света.

Из формулы (1) следует, что при наличии тела, создающего гравитационное поле, наблюдается искривление пространства-времени, приводящее к отличию его метрики от галилеевой. В случае, если гравитационное поле создается не центрально-симметричным телом или системой движущихся тел, то отличие метрики пространства-времени от галилеевой может быть еще более ярко выраженным. Глобальная анизотропия Вселенной может описываться еще более сложной зависимостью метрики от пространственно-временных координат.

Очевидно, что экспериментальное определение искривления пространства-времени и соответствующего ему вида метрики возможно путем регистрации особенностей распространения света во Вселенной. Такой метод может быть реализован, в частности, при

измерениях глобальной анизотропии реликтового излучения [3]. При этом должны наблюдаться области небесной сферы, имеющие повышенную или пониженную температуру реликтового фона.

Но отличие метрики пространства-времени от галилеевой должны наблюдаться не только в глобальном масштабе, но и локально, в каждой точке пространства. В терминах теории относительности это означает отличие метрического тензора  $g_{ik}$  от галилеева  $g_{ik}^{(0)}$ , описываемого выражениями (1). Поэтому задачей экспериментальных исследований может быть измерение локальных значений метрического тензора в лабораторных условиях.

Проведем оценку ожидаемой величины отличия значений метрического тензора  $g_{ik}$  от галилеева  $g_{ik}^{(0)}$ . Будем считать, что это отличие мало, и тогда метрический тензор  $g_{ik}$  можно представить в виде

$$g_{ik} = g_{ik}^{(0)} + h_{ik}, \quad (3)$$

где  $h_{ik} \ll 1$ .

Для оценки величины  $h_{ik}$  предположим, что для условий Земли основным источником искривления пространства-времени выступает притяжение центра нашей Галактики, имеющего экваториальные координаты  $\alpha = 17^{\text{h}}42^{\text{m}}$  и  $\delta = -29^\circ$  [4]. Считая в первом приближении, что гравитационное поле Галактики описывается метрикой Шварцшильда (2) и учитывая соотношение между величиной гравитационного потенциала

$$\varphi = -\frac{\gamma M}{r} \quad (4)$$

и скоростью  $v$  движения солнечной системы, имеем

$$\frac{\gamma M}{r} = \frac{v^2}{r}. \quad (5)$$

Тогда для направления на центр Галактики величину  $h$ , описывающую отличие компоненты  $g_{11} = g_{rr}$  метрического тензора от величины  $g_{11}^{(0)} = -1$ :

$$g_{rr} = -1 + h \quad (6)$$

для модели Шварцшильда (2) можно представить в виде

$$h = \frac{2v^2}{c^2}. \quad (7)$$

Считая скорость движения солнечной системы относительно центра Галактики  $v = 220$  км/с [4], имеем оценку величины  $h$ :

$$h = 1,08 \cdot 10^{-6}. \quad (8)$$

Измерение анизотропии пространства в лабораторных условиях может быть осуществлено путем организации необратимого процесса, имеющего ось чувствительности, то есть такого процесса, протекание которого имеет определенное направление в пространстве. Например, необратимого процесса, представляющего собой протекание электрического тока в выбранном пространственном направлении. Тогда при изменении направления протекания необратимого процесса по отношению к направлению на центр Галактики должны изменяться его параметры, в частности, статистические характеристики его флуктуаций.

Отметим, что проблема описания необратимых процессов в искривленном пространстве-времени до настоящего момента не имеет однозначного решения. Даже для случая релятивистской термодинамики, описывающей состояния равновесных систем в рамках специальной теории относительности, на сегодня нет общепринятого

закона преобразования температуры и теплоты. Существует несколько вариантов релятивистского описания равновесных термодинамических состояний, удовлетворяющих преобразованиям Лоренца [5].

Экспериментальное измерение анизотропии пространства основывалось на предположении об изменении дисперсии флуктуаций подвижности ионов (токового шума) в электролите в зависимости от направления вектора плотности тока в пространстве. При проведении измерений в качестве детектора использовалась электролитическая ячейка, разделенная на два сосуда с помощью лавсановой пленки толщиной  $l = 6 \text{ мкм}$ , имеющей отверстия (тонкие каналы) диаметром  $0,2...0,4 \text{ мкм}$  [6]. В каждом из сосудов размещалось по графитовому электроду, которые обеспечивали подвод электрического тока к электролиту. Схема детектора показана на рис. 1. Использовались две установки (№ 1 и № 2), имеющие одинаковое устройство.

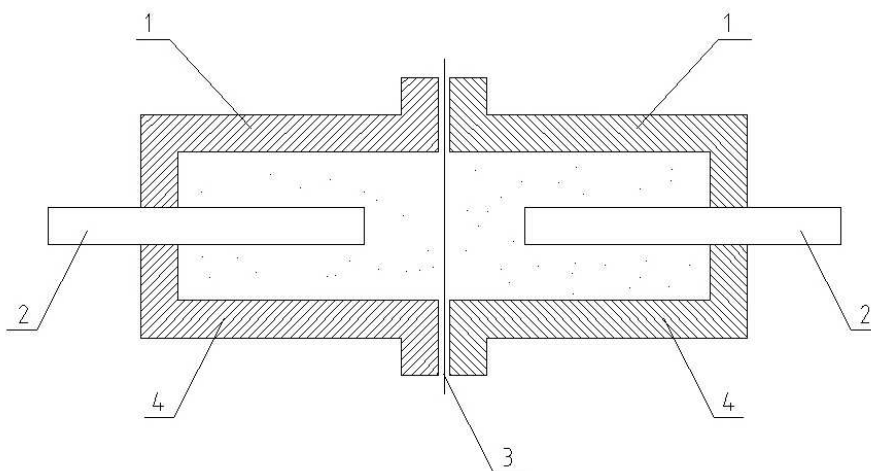


Рис. 1: Электролитическая ячейка. 1 – сосуды с электролитом, 2 – электроды, 3 – тонкая пленка с отверстиями, 4 – электролит

Электролитом являлся слабый раствор серной кислоты. Сопротивление электролитической ячейки определялось величиной отверстий в лавсановой пленке и равнялось примерно  $50...100 \text{ кОм}$ . При приложении внешнего напряжения величиной  $2...5 \text{ В}$  через электролит, находящийся в отверстиях пленки, протекал электрический ток, флуктуации которого вызывались случайными изменениями подвижности ионов в электролите. Возникающие при этом флуктуации напряжения на электролитической ячейке усиливались в  $10^5$  раз в полосе  $5...15 \text{ кГц}$  и с частотой опроса  $30 \text{ кГц}$  считывались в ПЭВМ. Возведенные в квадрат значения флуктуаций напряжения  $\delta U_i$  усреднялись за период времени, равный одной минуте

$$X = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} \delta U_i^2, \tag{9}$$

где  $N_0 = 1800000$  – число измерений за одну минуту. Значения  $X$  записывались в долговременную память ПЭВМ. Указанная процедура обработки сигнала обеспечивала регистрацию низкочастотных изменений дисперсии флуктуаций напряжения  $X$  на электролитической ячейке, что позволяло исследовать влияние внешних процессов на характер флуктуаций подвижности ионов в электролите.

Для подавления возможных мешающих факторов детекторы были размещены в подвальном помещении, термически изолированы и экранированы от электромагнитных наводок. С целью устранения влияния атмосферного давления и испарения электролита

сосуды электролитических ячеек герметизировались. Одновременно с записью сигналов с детекторов выполнялась со скважностью в одну минуту регистрация их температуры и наружной атмосферной температуры. Измерения на установках осуществлялись непрерывно с длительностью до двух лет.

Для уменьшения влияния поляризации электродов на электролитическую ячейку подавалось не постоянное напряжение, а переменное синусоидальное напряжение с частотой  $1 \text{ Гц}$  и амплитудой  $A_U$  от 2 до 5 В.

Диаграмма направленности установки обеспечивалась тем, что измерения флуктуаций подвижности ионов осуществлялась при их движении внутри тонкого канала в пленке. Это гарантировало наличие у установки диаграммы направленности, близкой к одноосной

$$\Theta(\varphi) = \cos^2(\varphi), \quad (10)$$

где угол  $\varphi$  отсчитывается от оси установки (оси графитовых электродов), совпадающей с осью тонких каналов в пленке.

Вследствие вращения Земли вокруг своей оси со звездным периодом 1436 минут установка в пассивном режиме осуществляла естественное сканирование различных пространственных направлений с целью выявления пространственной анизотропии Вселенной. Усреднение результатов измерений за период непрерывных измерений, продолжительностью до двух лет, позволяло повысить отношение сигнал/шум.

На рис. 2 приведен график зависимости дисперсии флуктуаций напряжения в эксперименте с 18.10.02 по 17.10.03 на установке № 2. Точки даны с усреднением за 1 час. Всего за год было проведено около  $10^{12}$  измерений значений флуктуаций напряжения на электролитической ячейке. Чувствительность установки достигала  $10^{-20} \text{ Вм}$  при периоде усреднения несколько месяцев. Точность регистрации относительных флуктуаций напряжения на электролитической ячейке находилась на уровне  $10^{-7}$  относительных единиц.

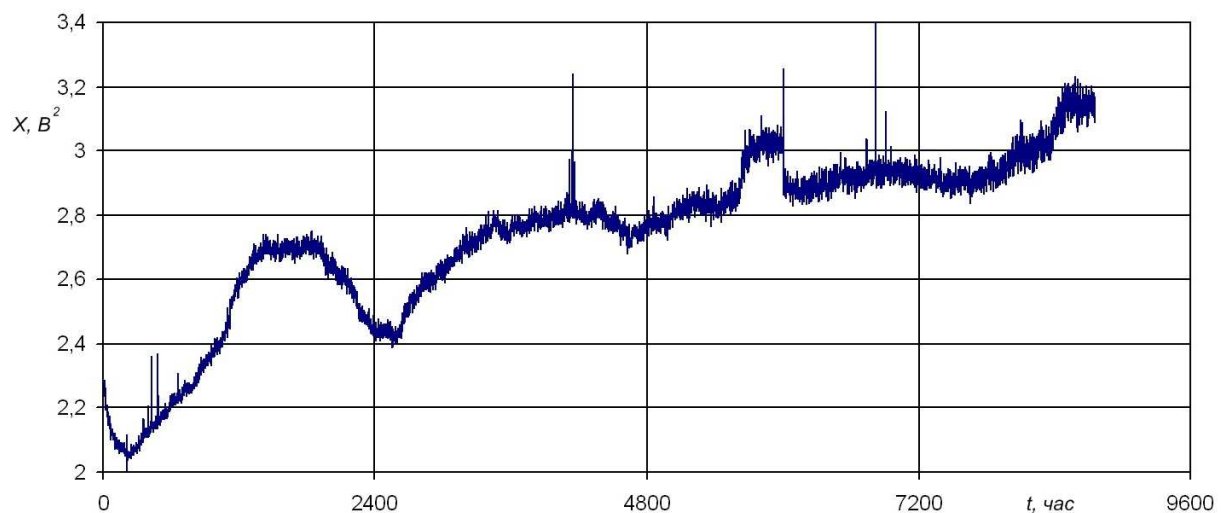


Рис. 2: График дисперсии флуктуаций напряжения в эксперименте с 18.10.02 по 17.10.03

Запись дисперсии флуктуаций подвергалась фильтрации с помощью прямоугольного окна с периодом 721 минуту (0,5 суток) с целью исключения суточного ритма, связанного с суточными изменениями температуры установки. Вычисления производились по формуле (случай записи через 1 минуту)

$$\tilde{X}_i = \frac{X_i - \langle X \rangle_i}{\langle X \rangle_i}, \quad (11)$$

где

$$\langle X \rangle_i = \frac{1}{721} \sum_{j=i-360}^{j=i+360} X_j. \quad (12)$$

Далее значения  $\tilde{X}_i$  усреднялись за 361 минуту для исключения высокочастотного шума

$$\langle \tilde{X} \rangle_i = \frac{1}{361} \sum_{j=i-180}^{j=i+180} \tilde{X}_j. \quad (13)$$

Для более надежного исключения суточного ритма проводилась дополнительная фильтрация с периодом 1440 минут по формуле

$$\langle \tilde{Z} \rangle_i = \langle \tilde{X} \rangle_i - \frac{1}{720} \sum_{j=i-1440}^{j=i+1440} \left( \frac{\cos(\pi \cdot j/720) \sin(\pi \cdot j/1440) \langle \tilde{X} \rangle_j}{\pi \cdot j/1440} \right). \quad (14)$$

После этого значения  $\langle \tilde{Z} \rangle_i$  суммировались со скважностью 1436 минуты

$$S_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \langle \tilde{Z} \rangle_{1436(i+k-1)}, \quad (15)$$

где  $N$  – число суток.

В результате получалась зависимость средней за  $N$  суток дисперсии флуктуаций напряжения от времени, прошедшего с начала первых суток. Это обеспечивало постоянство направления на галактические объекты для всех суток с привязкой к началу отсчета времени (началу записи).

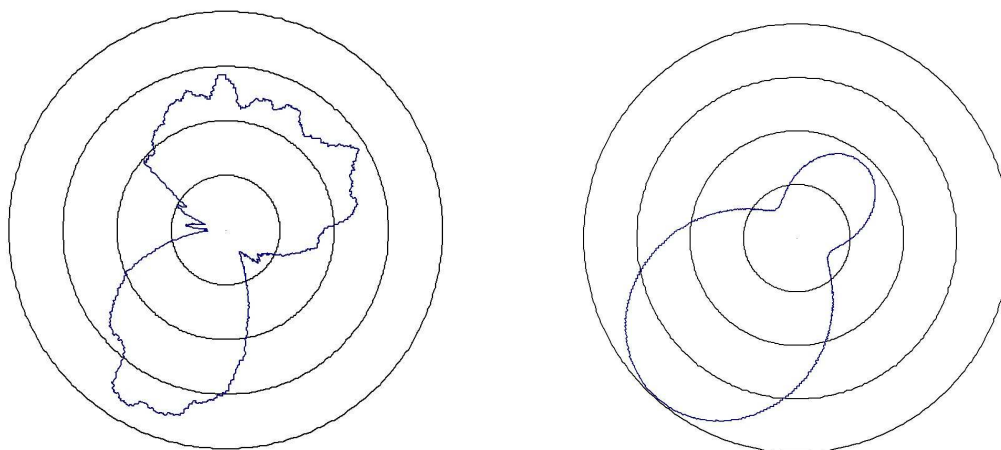


Рис. 3: Диаграммы зарегистрированной в эксперименте с 18.10.02 по 17.10.03 дисперсии флуктуаций напряжения (левая диаграмма) и расчетная диаграмма (правая диаграмма)

На рис. 3 приведены результат усреднения на звездном суточном периоде измерений дисперсии флуктуаций напряжения (левая диаграмма) и сопоставление с расчетной диаграммой (правая диаграмма) в предположении, что пространственная анизотропия имеет одноосный характер с направлением на центр Галактики. График построен по результатам измерений с 18.10.02 по 17.10.03 на установке № 2. Амплитуда переменного напряжения  $A_U$  на электролитической ячейке в начале опыта составляла 4,5 В, сопротивление – 115 кОм.

На рис. 4 приведены аналогичные диаграммы, построенные для опытов, проведенных с 09.05.08 по 19.10.08. На левой диаграмме приведен результат усреднения по двум установкам № 1 и № 2. Амплитуда напряжения  $A_U$  на обоих электролитических ячейках в начале опыта была 3,0 В, а сопротивление – соответственно 102 кОм (установка №1) и 34кОм (установка №2). В конце опыта сопротивление электролитической ячейки установки №1 стало равно 113 кОм, а амплитуда напряжения – 3,2 В. Соответствующие параметры установки №2 стали равны: 24 кОм и 2,5 В. Правая диаграмма иллюстрирует расчетный вид зависимости в предположении, что анизотропия имеет направленность на центр Галактики.

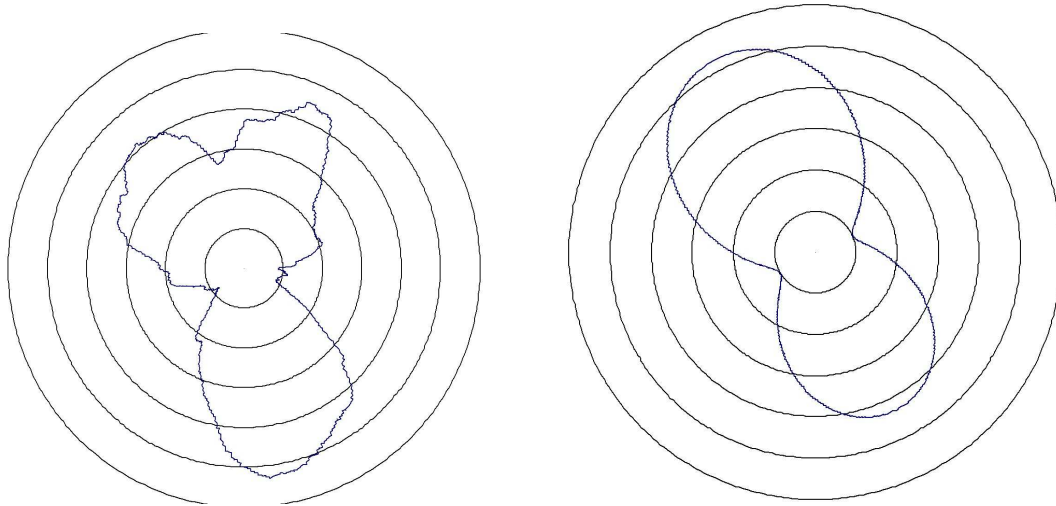


Рис. 4: Диаграммы зарегистрированной в эксперименте с 09.05.08 по 19.10.08 дисперсии флуктуаций напряжения (левая диаграмма) и расчетная диаграмма (правая диаграмма)

Как видно из приведенных диаграмм, наблюдается качественное соответствие полученных экспериментальных кривых расчетным зависимостям. Теоретическое объяснение результатов опытов может быть связано с наличием анизотропии пространства, вызванной гравитационным притяжением центра Галактики. Как было показано выше, оценки, основанные на общей теории относительности, показывают, что притяжение к центру Галактики должно вызывать одноосную деформацию пространства на уровне  $10^{-6}$  относительных единиц.

Проведем оценку измеренного искривления пространства исходя из предположения, что связанные с ним дополнительные флуктуации напряжения на электролитической ячейке (а, следовательно, и подвижности ионов) имеют характер фликкер-шума и описываются выражением:

$$\frac{\delta U^2}{U_0^2} = \frac{\alpha_h}{f N_\mu}, \quad (16)$$

где  $U_0$  – напряжение на электролитической ячейке,  $\alpha_h$  – параметр Хоуге, характеризующий интенсивность фликкер-шума,  $N_\mu$  – число ионов в электролите, находящихся в отверстиях лавсановой пленки,  $f$  – частота.

Измеренную величину параметра  $\alpha_h$  можно оценить по формуле [7]

$$\alpha_h = \frac{4\beta l^2 k T \Delta f}{\mu e U_0^2}, \quad (17)$$

где:  $\beta$  – относительное изменение дисперсии флуктуаций напряжения в зависимости от ориентации электролитической ячейки в пространстве,  $l = 6$  мкм – толщина лавсановой пленки,  $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К – постоянная Больцмана,  $T = 300$  К – температура

электролита,  $\Delta f = 10^4 \Gamma_{\zeta}$  – полоса регистрации флуктуаций напряжения на электролитической ячейке,  $\mu = 3,26 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{В} \cdot \text{с}$  – подвижность ионов водорода в электролите,  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$  – заряд электрона, а квадрат напряжения на электролитической ячейке в среднем равен

$$U_0^2 = \frac{A_U^2}{2}. \tag{18}$$

Тогда окончательно имеем формулу для расчета параметра  $\alpha_h$ :

$$\alpha_h = \frac{8\beta l^2 kT \Delta f}{\mu e A_U^2}. \tag{19}$$

При подстановке в неё указанных выше параметров получим

$$\alpha_h = 0,2 \frac{\beta}{A_U^2}. \tag{20}$$

Проведем оценку параметра  $\alpha_h$  на основе результатов проведенных измерений флуктуаций напряжения на электролитической ячейке. В таблице представлены результаты экспериментов, выполненных в период с 2002 по 2008 год.

Таблица

Период времени эксперимента	Номер установки	$A_U, \text{В}$	$\beta$	$\alpha_h$
с 18.10.02 по 17.10.03	№ 2	4,5	$3,0 \cdot 10^{-4}$	$3,1 \cdot 10^{-6}$
с 04.03.07 по 10.09.07	№ 1	2,8	$1,4 \cdot 10^{-4}$	$3,6 \cdot 10^{-6}$
с 09.05.08 по 19.10.08	№ 1	3,1	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^{-6}$
–/–	№ 2	2,7	$0,6 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-6}$

Как следует из приведенной таблицы, получившиеся значения параметра  $\alpha_h$  превышают в 2...3 раза значение величины  $h$ , полученной выше (см. выражение (8)). Такое завышение может быть вызвано неточностью оценки по простой модели Шварцшильда, а также наличием анизотропии пространства не связанной с гравитационным полем Галактики. Для подтверждения (или опровержения) полученных результатов необходимо создание новых экспериментальных установок, толщина пленок в электролитической ячейке которых должна быть не более 1...2 мкм, а приложенное напряжение – не менее 5 В. Это позволит поднять чувствительность установок примерно в 10...20 раз, что, в свою очередь, даст возможность сделать обоснованные выводы о наличии глобальной пространственной анизотропии Вселенной.

### Литература

1. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теория поля. - М.: Наука, 1973..
2. Space-Time Structure. Collected papers / Ed. D. G. Pavlov. - М.: TETRU, 2006.
3. Точные решения уравнений Эйнштейна / Под ред. Э. Шмутцера. - М.: Энергоиздат, 1982.
4. Физическая энциклопедия. Том 1. - М.: Советская энциклопедия, 1988.
5. Базаров И. П. Термодинамика. - М.: Высшая школа, 1991.
6. Коротаяев С. М., Морозов А. Н., Сердюк В. О., Сорокин М. О. Проявление макроскопической нелокальности в некоторых естественных диссипативных процессах // Изв. Вузов, Физика. - 2002. - № 5. - С. 3–14.
7. Морозов А. Н. Необратимые процессы и броуновское движение: Физико-технические проблемы. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997. - 332 с.

## The influence of the spatial anisotropy of the Universe on the ions displacement fluctuations

A. N. Morozov

*MSTU n. a. N. E. Bauman*

*amor@mx.bmstu.ru*

We present the measurements of the fluctuations of the displacements of ions in small electrolyte volumes, included in thin channels of diameter  $0.2...0.4 \mu m$ , built in a 6 mm width lavesan film. The results of averaging the experimental data for durations of 1436 minutes are obtained, and it is pointed out the dependence of the ions displacement fluctuations on the orientation of the experimental setting in space. It is concluded that the space exhibits a mono-axial anisotropy in a direction which is close to the direction towards the center of the Galaxy. The obtained result of relative anisotropy represents  $2...3 \cdot 10^{-6}$  relative units, which exceeds 2...3 times the expected value, which is associated to the bending of the space due to the gravitational field of the Galaxy.

**Key-words:** anisotropy, fluctuations, displacements, Cosmology.

**MSC:** 74E10, 70J35, 83D05.