

*Burinskii A.Ya.* Complex Kerr geometry and nonstationary Kerr solutions // *Physical Review D*. 2003. V. 67. P. 12024–12027.

*Debney G., Kerr R.P., Schild A.* Solutions of the Einstein and Einstein-Maxwell equations // *Journal of Math. Physics*. 1969. V. 10. P. 1842–1856.

*Kassandrov V.V.* Biquaternionic electrodynamics and Weyl-Cartan structure of space-time // *Gravitation & Cosmology*. 1995. V. 1. № 3. P. 216–222; [www.arXiv.org/gr-qc/0007027](http://www.arXiv.org/gr-qc/0007027)

*Kassandrov V.V., Trishin V.N.* «Particle-like» singular solutions in Einstein-Maxwell theory and in algebraic dynamics // *Gravitation & Cosmology*. 1999. V. 5. № 4. P. 272–276; [www.arXiv.org/gr-qc/0007026](http://www.arXiv.org/gr-qc/0007026)

*Kassandrov V.V.* General solution of the complex eikonal equation and the «algebroidynamical» field theory // *Gravitation & Cosmology*. 2002. V. 8. Suppl. 2. P. 57–62; [www.arXiv.org/math-ph/0311006](http://www.arXiv.org/math-ph/0311006)

*Kassandrov V.V., Rizcalla J.A.* Particles as field singularities in the unified algebraic dynamics // *Geometrical and topological ideas in modern physics*. Ed. V.A. Petrov. Protvino: Institute for high energy physics. 2002. P. 199–212.

*Kassandrov V.V.* Singular sources of Maxwell fields with self-quantized electric charge. // *Has the last word been said on classical electrodynamics?* Eds. A. Chubykalo, V. Onoichin, A. Espinoza, R. Smirnov-Rueda. Rinton Press. 2004. P. 42–67; [www.arXiv.org/physics/0308045](http://www.arXiv.org/physics/0308045)

*Lind R.W., Newman E.T.* Complex Lienard-Wiechert potentials // *Journal of Math. Physics*. 1974. V. 15. P. 1103–1114.

*Montanus J.M.C.* Proper time physics. // *Hadronic Journal*. 1999. V. 22. P. 625–673.

*Newman E.T.* Maxwell's equations and complex Minkowski space // *Journal of Math. Physics*. 1973. V. 14. P. 102–103.

*Newman E.T.* Classical, geometric origin of magnetic moments, spin-angular momentum, and the Dirac gyromagnetic ratio // *Physical Review D*. 2002. V. 65. P. 104005–104018; [www.arXiv.org/gr-qc/0201055](http://www.arXiv.org/gr-qc/0201055)

*Newman E.T.* Maxwell fields and shear-free null geodesic congruences // *Classical and Quantum Gravity*. 2004. V. 21. P. 1–25.

*Shaw W.T.* Twistors, minimal surfaces and strings // *Classical and Quantum Gravity*. 1985. V. 2. P. L113–L119.

*Scheffers G.* Verallgemeinerung der Grundlagen der gewöhnlichen komplexen Funktionen. *Berichte Sachs. Acad. Wissen.* 1893. Bd. 45. P. 828–842.

*Yefremov A.P.* Quaternionic relativity. I. Inertial motion // *Gravitation & Cosmology*. 1995a. V. 2. № 1. P. 77–83.

*Yefremov A.P.* Quaternionic relativity. II. Non-inertial motion // *Gravitation & Cosmology*. 1995b. V. 2. № 4. P. 335–341.

## ГЛАВА VI

*Сергей М. Коротаев*

Институт геоэлектромагнитных исследований

Института физики Земли РАН;

кафедра причинной механики

Web-Института исследований природы времени

<http://www.chronos.msu.ru>; [serdyuk@izmiran.ru](mailto:serdyuk@izmiran.ru)

### Козыревское время и макроскопическая нелокальность\*

Основным постулатом причинной механики является признание фундаментальной необратимости времени. Это приводит к новому типу универсального взаимодействия необратимых процессов, которое, парадоксальным образом, может идти в обратном времени. Эксперименты Н.А. Козырева, демонстрирующие эту возможность, долго вызывали сомнение из-за их недостаточной строгости. Но недавно синтез идей причинной механики и теории прямого межчастичного взаимодействия позволил представить козыревское взаимодействие как проявление квантовой нелокальности в макропределе. Поставлена серия экспериментов по проверке этой гипотезы на современном уровне строгости. В результате подтверждено существование корреляций практически изолированных необратимых процессов. Их нелокальный характер проверен нарушением неравенств типа Белла. Наиболее важным оказалось обнаружение опережающих корреляций для неконтролируемых (естественных) процессов. Это дает возможность в некотором смысле наблюдения неконтролируемого будущего. Уровень корреляции и время опережения достаточны для использования эффекта макроскопической нелокальности для прогноза некоторых крупномасштабных геофизических и астрофизических процессов. На этой основе разработан метод долгосрочного прогноза геомагнитной активности.

**Ключевые слова:** *время, нелокальность, необратимость, диссипация, причинность, прогноз.*

#### 1. Введение

Важнейшей чертой времени, обуславливающей то внимание, которое оно приковывает к себе на протяжении всей истории науки, является его необратимость. Будучи во многих отношениях неотличимым от пространственных измере-

\* Работа поддержана грантом РФФИ № 05-05-64032а.

ний, буквально перемешиваясь с ними в формулах теории относительности, время отличается фатальной однонаправленностью. При этом все фундаментальные уравнения физики одинаково справедливы и для прямого, и для обратного направления времени! Обычное разрешение этого парадокса заключается во введении неравновесных (асимметричных) начальных условий. Тогда необратимость становится свойством не времени, а конкретных систем. Последовательное проведение этой идеи (строго никем, правда, не проделанное) приводит к исходному космологическому начальному условию такого рода – Большому взрыву. Причина явной, универсальной, вопиющей необратимости времени при этом изгоняется из повседневной практики в предельно отдаленное и экспериментально неverifiedируемое прошлое. Психологически такой путь «изгнания проблемы» понятен, но физически неудовлетворителен. С одной стороны, он просто не верен для слабого взаимодействия, поскольку T-неинвариантность распадов нейтральных каонов – твердо установленный факт. С другой – просто необходимо проверить, к каким конкретным последствиям приведет допущение об асимметрии времени.

Более 40 лет назад Н.А. Козырев предложил концепцию активного времени, развитую им в рамках подхода, названного причинной механикой (Козырев, 1991). Исходным положением причинной механики является признание фундаментальной асимметрии времени. Связь принципов симметрии с законами сохранения (теоремы Нетер и их квантовые аналоги) ведет к нарушению закона сохранения энергии. Н.А. Козырев трактовал такое нарушение как «возникновение энергии у самого времени». Тем самым время становится из обычного реляционного субстанциональным понятием. Экспериментально верифицируемые следствия причинной механики можно разделить на два класса.

Во-первых, причинная механика формально предсказывает возникновение в гироскопе, возбужденном некоторым необратимым (диссипативным) процессом, парных сил, действующих вдоль оси вращения. Эти силы, названные силами причинности, малы, но вполне измеримы (например, для такого гироскопа, как Земля, они достигают  $10^{-5}$  силы тяжести). Эксперименты с гироскопическими системами, выполненные Н.А. Козыревым в 1950–60-х годах,

подтверждали не только существование сил причинности, но и подтвердили порядок теоретической оценки основной константы теории – псевдоскаляра  $c_2 \approx +2200$  км/с в правой системе координат. Эти результаты встретили отрицательную реакцию физического истеблишмента, но в то же время никто не указал на конкретную ошибку и никто не взял на себя труд повторить эксперимент. Повторение было сделано много позже (Hayasaka, Takeuchi, 1989), совершенно независимо (авторы не знали о работах Н.А. Козырева) с позитивным и количественно близким результатом. Правда, введение диссипации в гироскопе произошло неосознанно. Другие авторы (Faller et al., 1990; Nitschke, Wilmarth, 1990; Quinn, Picard, 1990; Imanishi et al., 1991) с целью повышения добротности системы минимизировали диссипацию и получили отрицательный результат. Напротив, осознанное введение диссипации приводило к воспроизводству козыревских результатов (Savage, 1985; 1986). Введение рассчитанного на основе теории Н.А. Козырева распределения силы причинности на вращающейся Земле позволило объяснить казавшуюся случайной зональную асимметрию в ее фигуре, геологическом строении и атмосферной циркуляции (Arushanov, Korotaev, 1996). Последние работы в этом направлении показали, что введение силы причинности в систему уравнений, используемых для метеорологических прогнозов, ведет к улучшению их качества, причем особенно для долгосрочных прогнозов (Арушанов, Горячев, 2003).

Во-вторых, энергия времени приводит к тому, что необратимые (диссипативные) процессы идут не просто во времени, но и «с помощью времени». Такого рода активность времени влечет взаимодействие между любыми диссипативными процессами. Н.А. Козырев (1991) поставил обширную серию экспериментов, которые продемонстрировали необычные свойства этого взаимодействия, например возможность опережающих корреляций для неконтролируемых (неуправляемых наблюдателем) процессов (Козырев, Насонов, 1978, 1980). Однако его результаты встретили также противоречивую реакцию из-за сомнений в чистоте экспериментов и из-за слабой формализации теории. Действительно, если сила причинности введена Н.А. Козыревым на основе полуклассических, но вполне формальных аргументов, вза-

имодействие процессов предсказано только качественно. В частности, сомнения встретило использование им таких неопределенных понятий, как «причина», «следствие», «прочность причинных связей», в качестве операциональных. Уровень строгости экспериментов Н.А. Козырева по исследованию нового типа взаимодействия процессов действительно был невысок. Несмотря на то что эксперименты такого рода были успешно воспроизведены в разных лабораториях (Savage, 1985; 1986; 1987; Лаврентьев и соавт., 1990; 1991; 1992; Zhirblis, 1996), отсутствие формализованной проверяемой модели и уровень строгости самих экспериментов (как правило, даже ниже, чем у Н.А. Козырева) не позволили сделать выводы убедительными.

Тем не менее этот второй аспект причинной механики представляется наиболее интересным, глубже раскрывающим ее неклассичность и перекликающимся с другими новейшими направлениями физики – теорией прямого межчастичного взаимодействия и квантовой нелокальностью. Кроме того, он позволяет по-новому взглянуть на ряд необычных – статистически достоверных, но невозможных с классической точки зрения корреляций некоторых астрофизических, геофизических, лабораторных физико-химических и биофизических процессов. Именно этому аспекту посвящен настоящий обзор. Основное содержание посвящено экспериментам, выполненным, наконец, на современном уровне строгости в 1996–2003 гг. Дополнительным базисом этих экспериментов послужила предшествующая формализация исходных положений причинной механики, касающаяся самого понятия причинности (Korotaev, 1993). Эта формализация вылилась в разработку аппарата причинного анализа, пригодного не только для изучения проблемы времени, но и для вполне утилитарного применения в обработке и интерпретации данных любого физического эксперимента, направленного на изучение неизвестных или известных, но зашумленных, причинных связей (Korotaev, 1992; Хачай и соавт., 1992; Коротаев и соавт., 1992; 1993; Коротаев, 1995). Формальное определение причинности позволило установить соответствие постулатов причинной механики и теории прямого межчастичного взаимодействия и указать на трактовку козыревского взаимодействия процессов как возможного проявления кванто-

вой нелокальности. Это дало почву для обоснования эвристической модели явления (Коротаев и соавт., 1998). Наличие модели позволило построить теорию некоторых детекторов козыревского типа, осознанно принять меры к исключению воздействия классических помех и количественно интерпретировать эксперименты.

В настоящем обзоре кратко излагается принятый теоретический подход и описываются результаты экспериментов. Опубликованные результаты (Дворук и соавт., 1998; Коротаев и соавт., 1998; Korotaev et al., 1999; Коротаев и соавт., 2000; Korotaev et al., 2000; Коротаев и соавт., 2002; 2003; Korotaev et al., 2003a; 2003b) излагаются сжато, новейшие – более подробно.

## 2. Теория

Обобщение экспериментальных результатов Н.А. Козырева (Korotaev, 1996; Коротаев и соавт., 1998) указывает, что изучаемое взаимодействие (корреляция) процессов носит существенно нелокальный характер.

В этом месте сделаем необходимое терминологическое отступление. Под нелокальностью понимается связь пространственно-разделенных состояний или процессов без посредства локальных носителей взаимодействия. Такие состояния называются запутанными, в том смысле, что различные подсистемы имеют общую нефактурируемую волновую функцию. В квантовой механике принято называть такие связи нелокальными корреляциями, но не взаимодействием, поскольку они не могут существовать отдельно от какого-либо из четырех известных фундаментальных взаимодействий. Корреляция тоже не лучший термин, поскольку не обязательно возникает из прямой физической связи, которая имеет место в явлении нелокальности. Поэтому в англоязычной литературе для такого рода специфического взаимодействия все чаще употребляют термин не «interaction», а «transaction». Последний термин в русском языке, однако, уже занят финансистами, поэтому далее в уместных случаях мы будем все же говорить о взаимодействии.

Именно из-за отсутствия локальных носителей взаимодействия квантовая нелокальность, не вступая в противоречие с теорией относительности, допускает мгновенную

связь подсистем. Точнее: допустим любой сдвиг времени (положительный, нулевой, отрицательный), не превышающий по модулю классического запаздывания. Важно, что эта ситуация моделируется парой сигналов со световой скоростью, но идущих в противоположном времени. Эти сигналы обеспечивают запаздывающую, симметричную по сдвигу времени, опережающую, а при наличии условий для их интерференции – мгновенную корреляцию подсистем. Если обе подсистемы контролируются наблюдателем, регистрируется только запаздывающая корреляция (невозможно организовать «телеграф в прошлое»).

Н.А. Козырев не употреблял термина «нелокальность», но подчеркивал, что при связи процессов «через физические свойства времени» ничего не распространяется, поэтому она может быть мгновенной. Точнее, такого рода связь теоретически осуществляется через нулевой интервал парой сигналов с временным сдвигом обоого знака (Козырев, 1980) – в точности как в явлении нелокальности. В упомянутых же экспериментах для контролируемого процесса-источника наблюдалась запаздывающая реакция пробного процесса, а для неконтролируемого наблюдалась также мгновенная и симметричная по сдвигу времени опережающая реакция. Таким образом, происходило нарушение сильной причинности (полного запрета опережения следствия относительно причины) при сохранении слабой (запрета опережения следствия относительно причины, иницированной наблюдателем), характерное для квантовой нелокальности (Cramer, 1980). Однако обычно считается, что квантовая нелокальность наблюдается только на микроуровне. Для козыревских корреляций, кроме макроскопических масштабов процессов, свойственна их диссипативность. Последняя же, как известно, ведет к декогеренции и, следовательно, подавлению квантовых корреляций. Но теоретические работы последних лет показывают, что, во-первых, квантовая нелокальность асимптотически сохраняется при переходе к сильному макропределу – неограниченному увеличению числа частиц в системе или их спина (Home, Majumdar, 1995), а во-вторых, диссипативность радиационных процессов при наличии общего термостата играет конструктивную роль в формировании квантовых корреляций (Башаров, 2002).

С другой стороны, анализ аксиоматики причинной механики показал ее сходство с аксиоматикой теории прямого межчастичного взаимодействия Уилера–Фейнмана (Коротаев и соавт., 1998; Korotaev, 2000). В последней взаимодействующие фермионы разделены конечными пространственными  $\delta x$  и временными  $\delta t$  промежутками (с нулевым интервалом), самодействие отсутствует. Две из трех аксиом Н.А. Козырева (1980; 1991) утверждают, по сути, то же самое (третья аксиома постулирует асимметрию времени). В формализованной трактовке (Korotaev, 1993) все три козыревские аксиомы представлены в виде принципа локальной, или сильной причинности:

$$\begin{aligned} \gamma < 1 &\Rightarrow t_Y > t_X, x_Y \neq x_X; \\ \gamma > 1 &\Rightarrow t_Y < t_X, x_Y \neq x_X; \\ \gamma \rightarrow 1 &\Rightarrow t_Y \rightarrow t_X, x_Y \rightarrow x_X; \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\gamma$  – функция причинности, определяется как отношение функций независимости процессов  $X$  и  $Y$ , обозначаемых  $i_{X|Y}, i_{Y|X}$ :

$$\gamma = \frac{i_{Y|X}}{i_{X|Y}}, 0 \leq \gamma \leq \infty \quad (2)$$

которые, в свою очередь, определяются через шенноновские условные и безусловные энтропии  $H$ :

$$i_{Y|X} = \frac{H(Y|X)}{H(Y)}, i_{X|Y} = \frac{H(X|Y)}{H(X)}, 0 \leq i \leq 1. \quad (3)$$

Здесь:

$$\begin{aligned} H(X) &= -\sum_{j=1}^J P(X_j) \ln P(X_j), \\ H(Y) &= -\sum_{k=1}^K P(Y_k) \ln P(Y_k), \end{aligned}$$

$$H(Y|X) = -\sum_{j=1}^J P(X_j) \sum_{k=1}^K P(Y_k|X_j) \ln P(Y_k|X_j),$$

$$H(X|Y) = -\sum_{k=1}^K P(Y_k) \sum_{j=1}^J P(X_j|Y_k) \ln P(X_j|Y_k),$$

где  $P(X_j)$ ,  $P(Y_k)$ ,  $P(X_j|Y_k)$ ,  $P(Y_k|X_j)$  – безусловные и условные вероятности  $j$ -го ( $k$ -го) уровня  $X$  и  $Y$  соответственно. По определению  $\gamma > 1$  означает, что  $Y$  – причина,  $X$  – следствие;  $\gamma < 1$ , соответственно,  $X$  – причина,  $Y$  – следствие. Случай  $\gamma = 1$  отвечает непричинной связи  $X$  и  $Y$  (Коротаяев, 1992).

Далее теория прямого межчастичного взаимодействия обосновывает ненаблюдаемость опережающей части поля, единственным косвенным наблюдаемым результатом ее существования является радиационное затухание. Но последнее представляет диссипативный процесс, более того, любой диссипативный процесс в конечном счете влечет радиационное затухание. Можно показать (Коротаяев и соавт., 1998), что производство (безразмерной) энтропии на частицу  $\dot{S}$  при температуре  $T$  связано с третьей производной положения частицы  $\ddot{\ddot{x}}$ :

$$\langle \ddot{\ddot{x}} \rangle = -\frac{3c^3}{2e^2} kT \dot{S}, \quad (4)$$

которая, в свою очередь, вместе с запаздывающим полем  $E^{\text{ret}}$  определяет опережающее поле  $E^{\text{adv}}$  (Hoyle, Narlikar, 1995):

$$E^{\text{adv}} = E^{\text{ret}} - \frac{4e^2}{3qc^3} \ddot{\ddot{x}}, \quad (5)$$

где  $q$  – заряд частицы. Формулы (4) и (5) позволяют утверждать, что опережающее поле осуществляет связь между диссипативными процессами. Фигурирующая в (4) термодинамическая энтропия (энтропия геометрических положений)  $S$  и энтропия уровней  $H$  в (3) различаются пространствами определения вероятностей и могут быть соотнесены в рамках теории расслоенных пространств (Коротаяев, 1995).

В причинной механике признание фундаментальной асимметрии времени парадоксальным образом ведет к необходимости существования взаимодействия в обратном времени (Козырев, 1980). В теории прямого межчастичного взаимодействия, которая с самого начала, казалось бы, восстанавливает полную симметрию прямого и обратного времени, асимметрия времени необходимым образом проявляется как асимметрия эффективности поглощения запаздывающего и опережающего полей. В самом деле, полное поле  $E$  является суперпозицией

$$E = AE^{\text{ret}} + BE^{\text{adv}}, \quad (6)$$

где  $A$  и  $B$  – константы, и, обозначая эффективность поглощения запаздывающего поля  $a$  ( $a=1$  соответствует полному поглощению,  $a=0$  – отсутствию поглощения), эффективность поглощения опережающего поля  $b$  можно показать (Hoyle, Narlikar, 1995), что

$$A = \frac{1-b}{2-a-b}, \quad B = \frac{1-a}{2-a-b}. \quad (7)$$

Опережающее поле непосредственно не наблюдаемо (вследствие деструктивной интерференции полей всех источников и поглотителей), т. е. реально наблюдаемой ситуации соответствует подстановка в (6)  $A=1$ ,  $B=0$ . Тогда (7) совместимо с (6), только если  $a=1$ ,  $0 \leq b < 1$ . Следовательно, экранирующие свойства вещества по отношению к опережающему полю должны быть ослаблены. В результате уровень опережающих корреляций может превышать уровень запаздывающих. Теория (Hoyle, Narlikar, 1995) не позволяет уточнить величину  $b$ . Эксперимент в той постановке, в которой он выполнялся (Коротаяев и соавт., 1998; Korotayev et al., 1999; 2000; Коротаяев и соавт., 2000; 2002; 2003; Korotayev et al., 2003a; 2003b), также не дает прямой оценки, но позволяет утверждать, что  $b$  заметно меньше 1: в диапазоне расстояний от атмосферных процессов-источников  $10^1$ – $10^5$  м превышение опережающих корреляций над запаздывающими увеличивается от единиц до десятков процентов, так что в некоторых случаях регистрируется только опережающая корреляция.

Наконец, нелокальный характер квантовой теории прямого межчастичного взаимодействия (Hoyle, Narlikar, 1995) – в ней отсутствуют любые бозоны-переносчики взаимодействия, в том числе фотоны, – естественным образом приводит к известной транзакционной интерпретации квантовой нелокальности, которая не только дает логичное толкование известных фактов (Cramer, 1980; 1986), но и предсказывает новые (Elitzur, Dolev, 2003).

Синтез этих идей позволил предложить (Коротаяев и соавт., 1998) эвристическое уравнение, названное уравнением макроскопической нелокальности, допускающее экспериментальную верификацию:

$$\dot{S}_d = \sigma \int \frac{\dot{s}}{x^2} \delta\left(t^2 - \frac{x^2}{v^2}\right) dV. \quad (8)$$

где  $\dot{S}_d$  – производство энтропии в пробном процессе (детекторе),  $\sigma \approx e^4 / m_e^2 c^4$ ,  $m_e$  – масса электрона,  $\dot{s}$  – плотность производства энтропии в источниках,  $v^2 \leq c^2$ , интегрирование ведется по объему источников  $V$ . Дельта-функция показывает наличие симметричной по сдвигу времени запаздывающей и опережающей корреляции. Согласно Дж. Крамеру (Cramer, 1980) это не нарушает принципа слабой причинности, если источником является спонтанный (неконтролируемый наблюдателем) процесс. Если источник контролируется (управляется) наблюдателем, то возможна только запаздывающая корреляция. Поэтому особенно интересна постановка эксперимента именно с естественными крупномасштабными геофизическими или астрофизическими процессами-источниками.

Заметим, что в классическом пределе причинной механики (Козырев, 1991)  $c_2 \rightarrow \infty \Rightarrow \sigma \rightarrow 0$ , эффект нелокальности исчезает. Поскольку  $c_2 = e^2 / \hbar$  (Козырев, 1991; Korotaev, 1993) классические пределы причинной и квантовой механики ( $\hbar \rightarrow 0$ ) совпадают, таким образом, (8) удовлетворяет принципу соответствия.

Уравнение (8) непосредственно не учитывает поглощение промежуточными средами. Если взаимодействие происходит через промежуточную среду, за счет асимметрии поглощения уровень опережающего сигнала будет больше уровня запаздывающего.

Роль среды и некогерентности протяженного источника приводит еще к одному результату – если взаимодействие происходит с участием диффузионных процессов (т. е. происходит по межчастичным цепям через микроскопические электромагнитные поля Уилера–Фейнмана), то оно приводит к малой результирующей величине  $v$  в (8) и соответственно к большим результирующим временам запаздывания и опережения.

### 3. Эксперимент

Задача эксперимента заключается в изучении зависимости производств энтропии в пробном процессе и изучаемом процессе-источнике связанных уравнением (8), при условии подавления известных локальных взаимодействий. Хотя пробным процессом может быть любой диссипативный процесс, его выбор диктуется относительной величиной эффекта и теоретической прозрачностью, позволяющей связать измеряемый сигнал с производством энтропии и осознанно принять исчерпывающие меры по экранированию и/или контролю всех возможных локальных помехообразующих факторов (температура, давление, электромагнитное поле и т. п.). Процессами-источниками являются все диссипативные процессы окружающей среды (в меру производства энтропии и удаленности).

Для изучения козыревского взаимодействия были независимо сконструированы две экспериментальные установки. Установка ИГЭМИ (Институт геоэлектромагнитных исследований РАН) использует два типа детекторов, работа которых основана на связи энтропии с высотой потенциального порога. В первом из них измеряются спонтанные вариации собственных потенциалов слабополяризующихся электродов в электролите, во втором – спонтанные вариации темновой эмиссии фотокатода.

Теория детектора связывает измеряемый макропараметр пробного процесса с производством энтропии, фигурирующем в левой части уравнения (8). Продемонстрируем суть теории на примере электродного детектора. Самосогласованное решение для потенциала  $u$  в жидкой фазе выглядит (Коротаев, 1979):

$$u = \frac{2kT}{q} \ln \cos \left( x \arccos \exp \frac{q\zeta}{2kT} \right),$$

где  $q$  – заряд главного иона жидкой фазы,  $x$  – безразмерная длина ( $x=1$  соответствует половине расстояния между электродами),  $\zeta$  – полный (электрокинетический) потенциал. Абсолютная удельная энтропия  $S_d$  распределения потенциала может быть выражена через вероятность положения (нормированный потенциал)  $\varphi$ :

$$\phi = \frac{u}{\int_0^1 u dx} \quad (10)$$

$$S_d = -\int_0^1 \phi \ln \phi dx \quad (11)$$

Подставляя (9) в (10) и (11) и дифференцируя по времени, получаем левую часть (8) как функцию  $\zeta$  слабополяризующегося электрода:

$$\dot{S}_d \approx \frac{\exp w}{\arccos \exp w \sqrt{1 - \exp 2w}} \dot{w}, \quad (12)$$

где  $w = q\zeta / 2kT < 0$ . Выражение (12) справедливо именно для слабополяризующихся электродов ( $|w| \ll 1$ ). Общее выражение для любого  $|w|$ , а также расчетные формулы, связывающие энтропию  $S_d$  с измеряемым сигналом – разностью потенциалов пары близко расположенных электродов  $U = \zeta_1 - \zeta_2$  приведены в работах С.М. Коротаева и соавторов (1998; 2000).

Установка ИГЭМИ состоит из расположенных рядом электродного и фотокатодного детекторов, индивидуально высокозащищенных от локальных помех, другого электродного детектора, удаленного на 300 м и аппаратуры для контроля остаточных (не полностью подавленных экранированием) локальных помех. Установка ЦПФ (Центр прикладной физики МГТУ им. Н.Э. Баумана) использует детектор, основанный на связи энтропии со спонтанными флуктуациями подвижности ионов электролита. Измеряются вариации дисперсии флуктуаций проводимости в малом объеме электролита. Расстояние между установками ИГЭМИ (Троицк) и ЦПФ (Москва) 40 км. Все детали устройства установок и их работы приведены в публикациях А.Н. Морозова (1997), С.К. Дворука и соавторов (1998) и С.М. Коротаева и соавторов (1998; 2000; 2002).

На обеих установках выполнялись эксперименты двух типов: с контролируемыми (искусственными) и неконтролируемыми (естественными) процессами-источниками.

В экспериментах первого типа в качестве диссипативного процесса-источника использовались процессы смешения, изобарического нагревания и фазовых переходов – плавления и испарения. Наиболее эффективным оказался (как и следовало ожидать по величине изменения энтропии) процесс кипения воды. Поэтому именно последний был избран для основной серии опытов. Влияние нелокальных помех со стороны естественных процессов в таких опытах на установке ИГЭМИ исключается применением дифференциальной схемы измерений. Используются два разнесенных детектора, процесс-источник размещается вблизи одного из них на расстоянии, малом по сравнению с разносом. Измеряется разностный сигнал детекторов.

Но наиболее интересны эксперименты второго типа – с естественными крупномасштабными процессами-источниками. Поэтому наибольшие усилия были сосредоточены на длительных экспериментах по изучению реакции детекторов на различные геофизические и гелиофизические процессы. Получены 3 серии наблюдений. Первая – серия с высокозащищенными от локальных воздействий электродным и фотокатодным детекторами установки ИГЭМИ длительностью 1 год (1996–97). Совершенно независимо (исследовательские группы не знали о работах друг друга до их окончания) в первой половине этого срока проводился аналогичный эксперимент на установке ЦПФ. Кроме того, в первой половине срока в ИГЭМИ продолжались начатые в 1993 г. с другими целями измерения собственных потенциалов морских метрологических электродов (совместной разработки ВНИИМ и «Эталон»). Хотя меры по защите от локальных воздействий здесь были значительно слабее, но сами электроды являются наиболее устойчивыми к ним из всех известных типов. Это позволило использовать их как удаленный третий детектор. Благодаря тому, что обработка установила высокий уровень корреляции обоих электродных детекторов и был доказан ее нелокальный характер, появилась возможность использовать наблюдения 1993–1997 гг. как вторую серию. Правда, ввиду технических перерывов, длительность непрерывных рядов этой серии не превышала нескольких месяцев. В 2001–2003 гг. выполнена третья серия измерений – с высокозащищенным электродным детектором установки ИГЭМИ.

В экспериментах с искусственными источниками реакция детектора видна непосредственно в записи его сигнала (Коротаев и соавт., 2000), хотя иногда для увеличения отношения сигнал/шум требуется применение метода накопления (Дворук и соавт., 1998). В экспериментах с естественными источниками вследствие их множественности требуется в том или ином виде разделение сигналов. В обработке применялись методы корреляционного, регрессионного, спектрального и причинного анализов. Последний играл особую роль. Функции независимости  $i$  (3) в отличие от корреляционной функции  $r$  в общем случае асимметричны, они равно пригодны для любых нелинейных типов связи  $X$  и  $Y$  и любых распределений вероятностей. Но между ними имеется соответствие в следующих предельных случаях:  $i_{X|Y}=i_{Y|X}=1 \Rightarrow r=0$ ,  $|r|=1 \Rightarrow i_{X|Y}=i_{Y|X}=0$ .

## 4. Результаты

### 4.1. Сводка опубликованных результатов

Результаты экспериментов с искусственными источниками таковы (Коротаев и соавт., 2000):

1. Обнаруженный Н.А. Козыревым факт реакции изолированного пробного процесса на внешний диссипативный процесс любой природы подтвержден в строгой постановке – с инструментальным и математическим исключением воздействия по локальным классическим каналам (за счет изменения температуры и т. п.).

2. Наблюдается только запаздывающая реакция, причем величина запаздывания велика – при расстоянии до источника порядка метра реакция детектора наступает через время порядка часа после воздействия.

3. Главной неожиданностью оказался большой разброс параметров сигнала (времени запаздывания, амплитуды, времени роста и релаксации) при строго одинаковых условиях воздействия. Не обнаружена связь этих изменений с какими-либо изменениями внешних условий. При этом параметры сигнала связаны устойчивыми статистическими закономерностями. В частности, изменение пространственной энтропии двойного электрического слоя на грани-

це раздела фаз в детекторе равно верхней грани энтропии временной вариации потенциала; отношение длительностей действия источника и реакции детектора равно отношению вероятностей вынужденного и спонтанного теплового излучения, следующего из квантовой теории прямого межчастичного взаимодействия (Hoyle, Narlikar, 1995).

Более интересны результаты долговременных экспериментов с крупномасштабными естественными источниками (Дворук и соавт., 1998, Коротаев и соавт., 1998, Korotaev et al., 1999; 2000; Коротаев и соавт., 2000; 2002; 2003; Korotaev et al., 2003a; 2003b):

1. Синхронные сигналы всех четырех детекторов трех типов являются хорошо коррелированными. Уровень корреляции не зависит от типа детекторов и только слегка зависит от их пространственного разнорасположения. Анализ показывает, что сигналы формируются некоторыми общими причинами, но их влияние не может быть локальным.

2. Такими общими причинами оказались (в порядке убывания величины эффекта): солнечная, синоптическая, геомагнитная и ионосферная активность. Была выявлена сильная опережающая корреляция сигналов детекторов с этими процессами. Запаздывающая корреляция всегда меньше, причем она убывает с ростом пространственного масштаба процессов-источников. Величина опережения (как и запаздывания) значительна, порядка 10–100 суток, возрастая с ростом пространственного масштаба.

3. Нелокальный характер корреляции был доказан нарушением сильной причинности и неравенства типа Белла.

4. Уравнение (8) было количественно проверено на примере процесса геомагнитной активности (поскольку именно этот процесс допускает относительно простое вычисление правой части (8)). (Поясним суть проверки. Процесс-источник – омическая диссипация токов в ионосферно-магнитосферном источнике переменного магнитного поля  $B$ . Удельное производство энтропии легко выразить через электрическое поле  $E$  на частоте, удельное сопротивление  $\rho$  и температуру среды  $T$ ;  $E(f)$ , в свою очередь, через импеданс  $Z(f)$  связано с  $B(f)$ :

$$\dot{s} = \frac{\langle E^2(f) \rangle}{\rho k T} = \frac{|Z(f)|^2 \langle B^2(f) \rangle}{\rho k T}.$$



Далее, пользуясь общепринятыми приближениями, можно конкретизировать выражение импеданса и вычислить правую часть уравнения (8) по данным измерений магнитного поля в месте расположения установки. Несмотря на достаточно грубые модельные приближения в расчете производства энтропии, с точностью до первого знака уравнение (8) оказалось справедливым.

5. Уровень опережающей корреляции позволил продемонстрировать возможность солнечного, геомагнитного и синоптического прогноза.

#### 4.2. Новые результаты анализа старых экспериментальных данных

Максимальная длительность непрерывных рядов экспериментов 1993–1997 гг., проанализированная в опубликованных работах, не превышала года. Вместе с тем обнаружено, что уровень локальных корреляций в целом возрастает с периодом вариаций, особенно для солнечной активности. Для увеличения отношения сигнал/шум можно объединить сегменты данных, интерполируя пробелы и ограничиваясь низкими частотами. Эта процедура была применена к данным удаленного электродного детектора, солнечной и геомагнитной активности. В качестве индекса солнечной активности было использовано солнечное радиоизлучение  $R$  на частоте 610 МГц (излучение с уровня нижней короны, т. е. как раз с уровня наибольшей диссипации в солнечной атмосфере (Korotaev et al., 2003a)). В качестве индекса геомагнитной активности избран глобальный  $Dst$ -индекс, определяемый как отклонение горизонтальной компоненты поля от средней суточной вариации по данным экваториальных обсерваторий и характеризующий наиболее крупномасштабные токи в магнитосфере (Коротаев и соавт., 2003). Следует подчеркнуть, что электродный детектор не чувствителен ни к солнечному радиоизлучению, ни к магнитному полю (Коротаев и соавт., 2000);  $R$  и  $Dst$  являются только качественными индексами производства энтропии в источниках.

Объединенный временной ряд сигнала детектора  $U$  избирался по критерию наибольшей полной длительности при длине пробела до 28 суток. Таковым оказался ряд

26.10.1994–24.07.1997. Ряды  $R$  и  $Dst$  были взяты за интервал, начинающийся на год раньше и кончающийся на год позже ряда  $U$ . Все данные были подвергнуты низкочастотной фильтрации с граничным периодом 28 суток.

На рис. 1 показана корреляционная функция  $r_{UR}$  сигнала детектора  $U$  и солнечной активности  $R$ . Сдвиг времени  $\tau < 0$  соответствует запаздыванию  $U$  относительно  $R$ ,  $\tau > 0$  – опережению. Главный максимум  $r_{UR} = 0.51 \pm 0.02$  соответствует опережению  $\tau = 42$  сут. Принимая во внимание низкочастотную фильтрацию, лучше сказать около полутора месяцев. Но этот результат совпадает с величиной  $\tau = 42$  сут., полученной прежде (Korotaev et al., 2003a) с другим детектором, по другому интервалу времени (12.12.1996–11.12.1997) и более сложным математическим аппаратом причинного анализа. Запаздывающая корреляция незначима. Наличие двух других опережающих максимумов также соответствует прежнему результату.

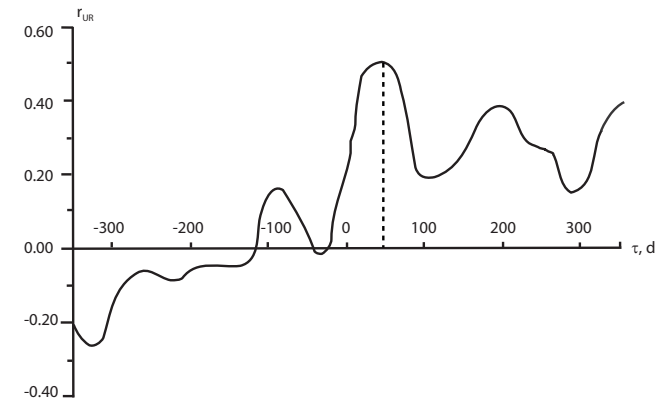


Рис. 1. Корреляционная функция  $r_{UR}$  сигнала детектора  $U$  и солнечной активности  $R$ . Отрицательный временной сдвиг  $\tau$  (в сутках,  $d$ ) соответствует запаздыванию  $U$  относительно  $R$ , положительный – опережению

Корреляция сигнала детектора с геомагнитной активностью почти та же:  $\max r_{UDst} = 0.50 \pm 0.02$  при том же  $\tau = 42$  сут. Одинаковая величина  $\tau$  объясняется малым временем отклика  $Dst$  на  $R$  (1–2 сут.) по сравнению с параметром низкочастотного фильтра  $T = 28$  сут. Корреляция  $Dst$  и  $R$

кажется синхронной при данном временном разрешении ( $r_{RDst} = 0.30 \pm 0.02$  при  $\tau = 0$ ).

Из таких значений  $r$  следует, что наблюдается, вероятно, прямое нелокальное влияние солнечной активности на пробный процесс в детекторе. Однако нелинейность связи  $Dst$  и  $R$ , а также  $U$  и  $R$  (Коротаев и соавт., 2002) может повлечь неадекватность сравнения их величин. Поэтому для доказательства рассмотрим неравенство типа Белла (Коротаев и соавт., 1998, 2002). Напомним, что смысл всех неравенств типа Белла состоит в следующем: если взаимодействие идет по локальному каналу, т. е. посредством частиц-переносчиков этого взаимодействия (например, фотонов), то статистические зависимости между наблюдаемыми ограничены некоторым пределом. Нарушение этого предела свидетельствует о нелокальности. Иначе говоря, связь между наблюдаемыми оказывается сильнее той, что может обеспечить локальный канал. В нашем случае неравенство типа Белла вытекает из цепного правила, накладывающего ограничение на функции независимости:

$$i_{U|R} \geq \max(i_{U|Dst}, i_{Dst|R}) \quad (13)$$

Выполнение этого неравенства является достаточным условием локальности связи по причинной цепи  $R \rightarrow Dst \rightarrow U$  (поскольку любое локальное воздействие Солнца на детектор не может произойти, минуя магнитосферу, и связь между началом и концом цепи не может быть сильнее связей в любом из промежуточных звеньев).

Для оценки устойчивости вычисленных величин  $i$  все три канала поочередно зашумляются 21% (по мощности) фликкер-шумом (Коротаев и соавт., 1998; 2002). Результаты таковы:  $i_{U|R} = 0.807^{+0.010}_{-0.009}$ ,  $i_{U|Dst} = 0.836^{+0.000}_{-0.002}$ ,  $i_{Dst|R} = 0.832^{+0.008}_{-0.000}$ . Неравенство (13) нарушено, следовательно, связь  $R \rightarrow U$  нелокальна.

Наличие нелокальных корреляций может быть использовано для задачи прогноза. Поскольку вариации сигнала детектора и крупномасштабных процессов далеки от дельта-коррелированных, для прогноза необходим алгоритм множественной регрессии. Но пока наша цель – лишь продемонстрировать возможность прогноза, можно просто сдвинуть временные ряды на величину  $\tau$ , соответствующую главному корреляционному максимуму. Но для такого простейшего алгоритма уровень корреляции  $r \approx 0.5$  недостато-

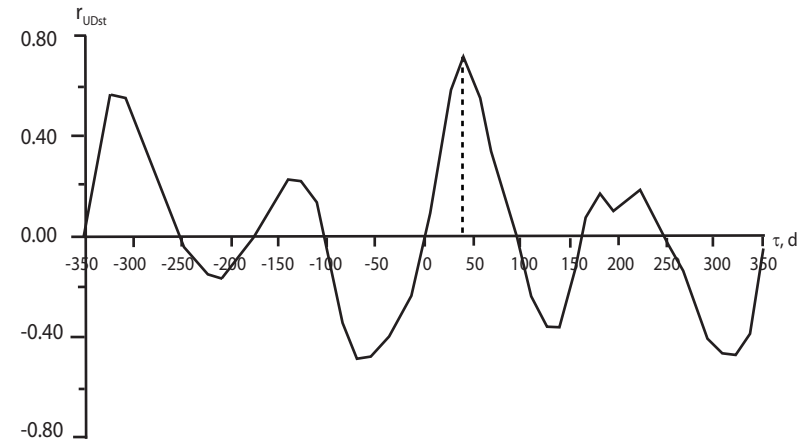


Рис. 2. Корреляционная функция  $r_{UDst}$  сигнала детектора  $u$  и геомагнитной активности  $Dst$  по фильтрованным данным в полосе периодов  $28 < T < 364$  суток. Отрицательный временной сдвиг  $\tau$  (в сут.,  $d$ ) соответствует запаздыванию  $U$  относительно  $Dst$ , положительный – опережению

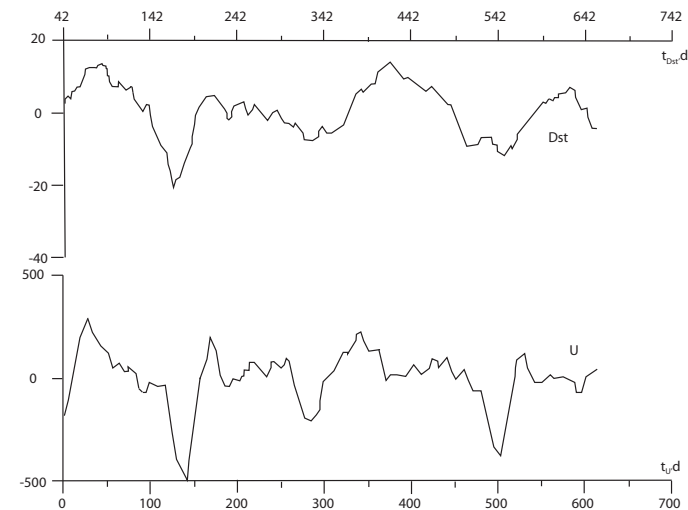


Рис. 3. Сигнал детектора  $U$  (мкВ) прогнозирует геомагнитную активность  $Dst$  (нТл) с заблаговременностью 42 суток

чен. Для увеличения корреляции мы попытались применить широкополосную фильтрацию. Для переменной  $r_{UR}$  это не привело к возрастанию ее величины, но для  $r_{UDst}$  подходящий диапазон периодов фильтра был найден, а именно  $28 > T > 364$  сут. Результат показан на рис. 2. При опережении на  $\tau = 42$  сут. имеется  $\max r_{UDst} = 0,70 \pm 0,02$ . Затем можно сдвинуть фильтрованные ряды и увидеть, что сигнал детектора  $U$  действительно прогнозирует геомагнитную активность  $Dst$  с заблаговременностью 42 сут. (рис. 3).

### 4.3. Новые экспериментальные результаты

Последний (двухлетний) эксперимент закончен 27 октября 2003 г., поэтому на момент написания данного обзора можно дать только предварительные выводы. Видимый сигнал детектора весьма гладкий – преобладают периоды не менее месяца. Но с начала 2003 г. наблюдались крайне резкие всплески длительностью порядка часа и большой величины – от 4 до 134 мкВ (аппаратурное разрешение 0,5 мкВ). Такие всплески отмечены 1, 9, 14, 15 января, 3, 11, 13, 14 февраля. Наибольший всплеск наблюдался 3 февраля (рис. 4). И именно через 42 сут. после этого случилась известная солнечная вспышка класса X 17 марта (рис. 5).

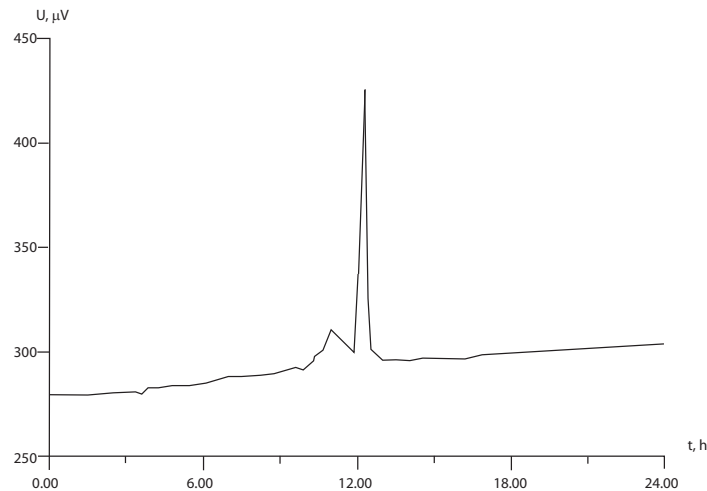


Рис. 4. Необычный всплеск сигнала детектора  $U$  3 февраля 2003 г. (время мировое)

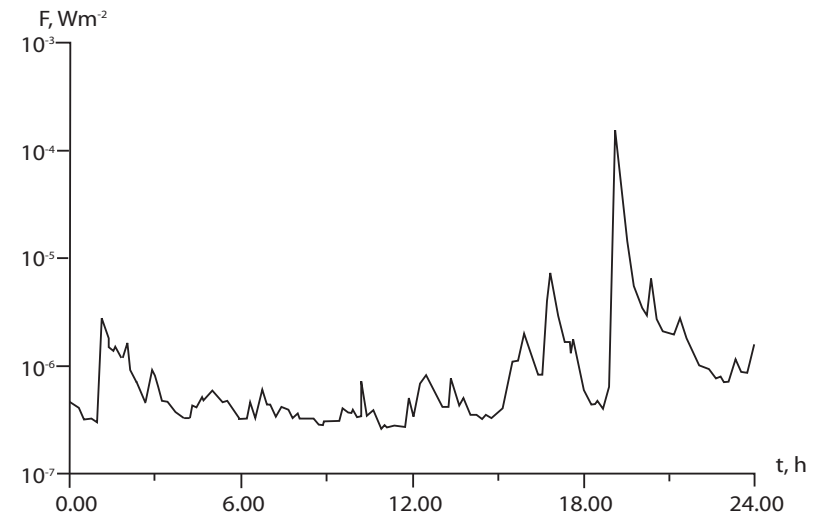


Рис. 5. Солнечная вспышка класса X 17 марта 2003 г., т. е. 42 суток спустя после события записанного детектором, которое показано на рис. 4 ( $F$  – поток рентгеновского излучения, Вт/м<sup>2</sup>)

Таким образом, это мощное солнечное явление вызвало опережающую реакцию электродного детектора с несколькими временными сдвигами и с главным всплеском при  $\tau = 42$  сут.

Несмотря на огромную энергию, эта солнечная вспышка из-за своего периферийного положения на диске Солнца не была геоактивной – она не вызвала мировой магнитной бури и других обычных откликов на Земле. Следовательно, влияние этого солнечного события на сигнал детектора было прямым, т. е. нелокальным. (Подобная серия всплесков  $U$  предвещала сопоставимые по энергии вспышки начала ноября 2003 г., но они как раз были крайне геоактивными, поэтому не это, а рассмотренное выше событие более показательное.)

## 5. Заключение

Эксперимент подтверждает существование козыревского взаимодействия практически изолированных диссипативных процессов, что может быть интерпретировано как прояв-

ление макроскопической нелокальности. Важнейшим свойством этого явления оказывается опережающая реакция пробного процесса на неконтролируемый крупномасштабный процесс-источник (взаимодействие в обратном времени).

Вероятно, нельзя относиться к формулировке гипотезы (8) более серьезно, чем как к эвристическому уравнению, но позитивные экспериментальные результаты указывают на актуальность разработки последовательной теории на пересечении идей причинной механики, квантовой нелокальности и теории прямого межчастичного взаимодействия.

Независимо от интерпретации, уровень опережающих корреляций достаточен для прогностических приложений, хотя их реализация требует решения нелегких, но вполне стандартных промежуточных задач – разделения сигналов (например, путем продемонстрированной в разделе 4.2 частотной фильтрации) и нахождения импульсных переходных характеристик. Последние позволяют осуществить корректный прогноз через расчет их свертки с сигналами детекторов, что эквивалентно множественной (возможно, нелинейной) регрессии.

Интригующий вопрос состоит в том, почему нелокальность дает возможность наблюдения будущего, но только не контролируемого наблюдателем? Означает ли это, что сознание наблюдателя каким-то образом подавляет опережающие сигналы?

Автор благодарит В.О. Сердюка, Ю.В. Горохова и В.А. Мачина за участие в экспериментальных исследованиях и А.П. Левича – за обсуждение результатов.

## ЛИТЕРАТУРА

*Арушанов М.Л., Горячев А.М.* Эффекты причинной механики в метеорологии. Ташкент, 2003. 103 с.

*Башаров А.М.* Декогерентность и перепутывание при радиационном распаде двухатомной системы // *ЖЭТФ*. 2002. Т. 121. Вып. 6. С. 1249–1260.

*Дворук С.К.* и соавт. Экспериментальные исследования необратимых процессов в электролитах // *Прикладная механика и технологии машиностроения*. Вып. 1(4). 1998. С. 61–66.

*Козырев Н.А.* Астрономическое доказательство реальности четырехмерной геометрии Минковского // *Проблемы исследования Вселенной*. 1980. Вып. 9. С. 85–93.

*Козырев Н.А.* Избранные труды. Л.: Изд-во ЛГУ, 1991. 447 с.

*Козырев Н.А., Насонов В.В.* Новый метод определения тригонометрических параллаксов на основе измерения разности между видимым и истинным положением звезд // *Проблемы исследования Вселенной*. 1978. Вып. 7. С. 168–179.

*Козырев Н.А., Насонов В.В.* О некоторых свойствах времени, обнаруженных астрономическими наблюдениями // *Проблемы исследования Вселенной*. 1980. Вып. 9. С. 76–84.

*Кортаев С.М.* Фильтрационное электромагнитное поле субмаринных источников // *Изв. АН СССР. Физика Земли*. 1979. № 8. С. 91–95.

*Кортаев С.М.* О возможности причинного анализа геофизических процессов // *Геомагнетизм и аэрономия*. 1992. Т. 32. № 5. С. 27–33.

*Кортаев С.М.* Роль различных определений энтропии в причинном анализе геофизических процессов и их приложение к электромагнитной индукции в морских течениях // *Геомагнетизм и аэрономия*. 1995. Т. 35. № 3. С. 116–125.

*Кортаев С.М., Сердюк В.О., Сорокин М.О.* Проявление макроскопической нелокальности в геомагнитных и солнечно-ионосферных процессах // *Геомагнетизм и аэрономия*. 2000. Т. 40. № 3. С. 56–64.

*Кортаев С.М., Хачай О.А., Шабелянский С.В.* Причинный анализ процесса горизонтальной информационной диффузии электромагнитного поля в океане // *Геомагнетизм и аэрономия*. 1993. Т. 33. № 2. С. 128–133.

*Кортаев С.М., Шабелянский С.В., Сердюк В.О.* Обобщенный причинный анализ и его применение для изучения электромагнитного поля в море // *Изв. АН. Физика Земли*. 1992. № 6. С. 77–86.

*Кортаев С.М.* и соавт. Экспериментальное исследование нелокального взаимодействия макроскопических диссипативных процессов // *Физическая мысль России*. 1998. № 2. С. 1–17.

*Кортаев С.М.* и соавт. Экспериментальное исследование нелокальности контролируемых диссипативных процессов // *Физическая мысль России*. 2000. № 3. С. 20–26.

*Кортаев С.М.* и соавт. Проявление макроскопической нелокальности в некоторых естественных диссипативных процессах // *Известия высших учебных заведений. Физика*. 2002. № 5. С. 3–14.

*Кортаев С.М.* и соавт. Экспериментальное исследование нелокальности некоторых магнитосферно-ионосферных и тропосферных процессов // *Необратимые процессы в природе и технике. Труды II Всероссийской конференции*. М.: МГТУ, 2003. С. 12–35.

*Лаврентьев М.М.* и соавт. О дистанционном воздействии звезд на резистор // *ДАН*. 1990. Т. 314. № 2. С. 352–355.

*Лаврентьев М.М.* и соавт. О регистрации истинного положения Солнца // ДАН. 1990. Т. 315. № 2. С. 368–370.

*Лаврентьев М.М.* и соавт. О регистрации реакции вещества на внешний необратимый процесс // ДАН. 1991. Т. 317. № 3. С. 635–639.

*Лаврентьев М.М.* и соавт. О сканировании звездного неба датчиком Козырева // ДАН. 1992. Т. 323. № 4. С. 649–652.

*Морозов А.Н.* Необратимые процессы и броуновское движение. М.: Изд-во МГТУ, 1997. 332 с.

*Хачай О.А., Коротаев С. М., Троянов А.К.* Результаты применения причинного анализа для обработки скважинных данных сейсмоакустической и электромагнитной эмиссии // Вулканология и сейсмология. 1992. № 3. С. 92–100.

*Arushanov M.L., Korotaev S.M.* Geophysical effects of causal mechanics // On the Way to Understanding the Time Phenomenon. Part 2. World Scientific, 1996. P. 101–108.

*Cramer J.C.* Generalized absorber theory and the Einstein-Podolsky-Rosen paradox // Phys. Rev. D. 1980. V. 22. № 2. P. 362–376.

*Cramer J.C.* The transactional interpretation of Quantum Mechanics // Rev. Mod. Phys. 1986. V. 58. № 3. P. 647–688.

*Elitzur A.C., Dolev S.* Is there more to T? // The Nature of Time: Geometry, Physics and Perception. Kluwer Academic Publishers. 2003. P. 297–306.

*Faller et al.* Gyroscope-weighting experiment with a null result // Phys. Rev. Lett. 1990. V. 64. № 8. P. 825–826.

*Hayasaka H., Takeuchi S.* Anomalous weight reduction on a gyroscope right rotation around the vertical axis on the Earth // Phys. Rev. Lett. 1989. V. 63. № 25. P. 2701–2704.

*Home D., Majumdar A.S.* Incompatibility between quantum mechanics and classical realism in the strong macroscopic limit // Phys. Rev. A. 1995. V. 52. № 6. P. 4959–4962.

*Hoyle F., Narlikar J.V.* Cosmology and action-at-a-distance electrodynamics // Rev. Mod. Phys. 1995. V. 67. № 1. P. 113–156.

*Imanishi A. et al.* Observation against the weight reduction of spinning gyroscopes // J. Phys. Soc. Japan. 1991. № 4. P. 1150–1152.

*Korotaev S.M.* Formal definition of causality and Kozyrev's axioms // Galilean Electrodynamics. 1993. V. 4. № 5. P. 86–89.

*Korotaev S.M.* Logic of causal mechanics: observation – theory – experiment // On the Way to Understanding the Time Phenomenon. Part 2. World Scientific. 1996. P. 60–74.

*Korotaev S.M.* The force of time // Galilean Electrodynamics. 2000 V. 11. S.I.2. P. 29–33.

*Korotaev S.M., Serdyuk V.O., Sorokin M.O.* Experimental verification of Kozyrev's interaction of natural processes // Galilean Electrodynamics. 2000 V. 11. S.I.2. P. 23–28.

*Korotaev S.M. et al.* Geophysical manifestation of interaction of the processes through the active properties of time // Physics and Chemistry of the Earth. A. V. 24. № 8. P. 735–740.

*Korotaev S.M. et al.* Experimental estimation of macroscopic nonlocality effect in solar and geomagnetic activity // Physics of Wave Phenomena. 2003a. V. 11. № 1. P. 46–54.

*Korotaev S.M. et al.* Experimental evidence of nonlocal transaction in reverse time // Physical Interpretation of Relativity Theory. Moscow: BMSTU Press. 2003b. P. 200–212.

*Nitshke J.M., Wilmarth P.A.* Null result for the weight change of a spinning gyroscope // Phys. Rev. Lett. 1990. V. 64. № 18. P. 2115–2116.

*Quinn T.J., Picard A.* The mass of spinning rotors: no difference on speed or sense of rotation // Nature. 1990. V. 343. № 6260. P. 81–94.

*Savage D.* Time stress and other properties of time // The Toth-Maatian Review. 1985. V. 4. № 2. P. 1989–1911.

*Savage D.* Conservation of momentum at a distance // The Toth-Maatian Review. 1986. V. 4. № 4. P. 2257–2262.

*Savage D.* Measuring local time dilation using sandglass egg timers // Progress in Space-Time Physics. Blumberg: Wessely Press, 1987. P. 242–251.

*Zhvirlis V.E.* Stars and koltsars // On the Way to Understanding the Time Phenomenon. Part 2. World Scientific, 1996. P. 135–173.