

Квантовые корреляции и искусственный интеллект

Болдырева Людмила Борисовна¹, Белова Елена Юрьевна²

¹канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Государственный университет управления» г. Москва, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-0756-527X, e-mail: boldyrev-m@yandex.ru

²старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Государственный университет управления», г. Москва, Российская Федерация, e-mail: belov_a@rambler.ru

Аннотация

Рассмотрена возможность использования квантовых корреляций в процессе обмена информацией между системами искусственного интеллекта. К преимуществам использования квантовых корреляций в этом процессе относят: высокую степень защиты информации как на физическом уровне (электрические и магнитные шумы не влияют на квантовые корреляции), так и на уровне сохранения конфиденциальности передаваемой информации (любое внешнее вмешательство приводит к искажению информации без раскрытия ее содержания); возможность полной автоматизации процесса передачи информации; бездиссипативность (следует из того, что квантовые корреляции осуществляются между квантовыми объектами, описываемыми единой волновой функцией); высокая скорость передачи информации (выше скорости света). В данном случае нет нарушения постулата теории относительности, так как последний относится только к инерционным системам, а квантовые корреляции вследствие бездиссипативности являются безынерционным процессом (вследствие известной, экспериментально проверенной связи между массой m и энергией E : $E = mc^2$, где c – скорость света).

В работе рассмотрены возможные принципы использования квантовых корреляций для обмена информацией между системами искусственного интеллекта, в частности, рассмотрены два варианта передачи информации между такими системами: с внешней синхронизацией времени передачи информации и автономной синхронизацией, осуществляемой взаимодействующими системами искусственного интеллекта. Основной трудностью в реализации передачи информации с помощью квантовых корреляций является необходимость использования, так называемых «перепутанных» (entangled) квантовых объектов, то есть квантовых объектов с некоторыми взаимно зависимыми характеристиками их волновых функций.

Ключевые слова: волны материи, информация, искусственный интеллект, квантовые корреляции, квантовая механика, квантовая нелокальность, система искусственного интеллекта, телепортация.

Цитирование: Болдырева Л.Б., Белова Е.Ю. Квантовые корреляции и искусственный интеллект//Управление. 2020. № 2. С. 74–80.

Благодарности. Публикация подготовлена по проекту № 2 в рамках договора пожертвования от 01 марта 2019 г. № 1154.

© Болдырева Л.Б., Белова Е.Ю., 2020. Статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0. всемирная (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



Quantum correlations and artificial intelligence

Boldyreva Liudmila¹, Belova Elena²

¹Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, State University of Management, Moscow, Russia, ORCID: 0000-0002-0756-527X, e-mail: boldyrev-m@yandex.ru

²Senior Teacher, State University of Management, Moscow, Russia, e-mail: belov_a@rambler.ru

Abstract

The possibility of using quantum correlations in the process of exchanging information between artificial intelligence systems has been considered. The benefits of using quantum correlations in such process include: high degree of information protection both on the physical level (electric and magnetic noise does not affect quantum correlations) and on the level of confidentiality preservation of information transmitted (any external interference results in data corruption without information disclosure); the possibility of full automation of information transmission process; the process is dissipation free (which follows from that the quantum correlations are performed between the quantum objects described by the same wave function); high speed of information transmission (higher than the speed of light). In this case the special relativity postulate concerning the speed of light is not violated, because it relates to inertial systems only; however, quantum correlation due to being dissipation free is an inertialess process (which follows from the well-known, experimentally-verified relationship between mass m and energy E : $E = mc^2$, where c is the speed of light). Feasible approaches to using quantum correlations for information exchange between artificial intelligence systems have been reviewed in the paper, in particular two versions of information transmission between artificial intelligence systems have been considered: with external synchronization of information transmission time and autonomous synchronization performed by interacting artificial intelligence systems. The main difficulty in implementing information transmission by means of quantum correlations is the necessity of using the so-called entangled quantum objects, that is the quantum objects having some mutually-dependent characteristics of their wave functions.

Keywords: artificial intelligence, artificial intelligence system, information, matter waves, quantum non-locality, quantum correlations, quantum mechanics, teleportation.

For citation: Boldyreva L.B., Belova E. Yu. Quantum correlations and artificial intelligence (2020) *Upravlenie*, 8 (2), pp. 74–80. DOI: 10.26425/2309-3633-2020-2-74-80

Acknowledgements. The publication was prepared under the Project No. 2 within the donation agreement No. 1154 dated on March 1, 2019.

© The Author(s), 2020. This is an open access article under the CC BY 4.0 license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



В октябре 2019 г. президентом Российской Федерации утверждена Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 г. «Стратегией определяются цели и основные задачи развития искусственного интеллекта в Российской Федерации, а также меры, направленные на его использование в целях обеспечения национальных интересов и реализации стратегических национальных приоритетов, в том числе в области научно-технологического развития» [1].

В Стратегии отмечается, что благоприятным фактором развития технологий искусственного интеллекта в России является современная базовая информационно-коммуникационная инфраструктура. Существенным является также развитие науки об управлении отдельными производственными комплексами, отраслью, регионами. Разрабатываемые алгоритмы выработки решений, автоматизация сбора информации и контроля за выполнением принятых на основе этой информации решений, переход на цифровую экономику позволяют плодотворно использовать технологии искусственного интеллекта в области управленческо-хозяйственной деятельности.

В настоящей статье анализируются научно-технические предпосылки совершенствования информационно-коммуникационной инфраструктуры на основе принципиально новых средств связи, использующих квантовые корреляции, причем системами, между которыми производится обмен информацией являются системы искусственного интеллекта. Выбор таких систем объясняется тем, что по сравнению с традиционными вычислительными комплексами системы искусственного интеллекта обладают возможностями, необходимыми для работы с каналами связи, использующими квантовые корреляции, с одной стороны. Кроме того, к функционированию систем искусственного интеллекта предъявляются более высокие требования по надежности, защите информации, быстротедействию и другим характеристикам, которые будут рассмотрены ниже.

В 1923 г. Луи де Бройль предложил гипотезу о волновых свойствах материи [7]. В 1926 г. Э. Шредингер предложил волновое уравнение, решением которого является волновая функция со следующими характеристиками: частота, фаза, длина волны [11]. В 1935 г. А. Эйнштейн, Б. Подольский и Н. Розен уже обсуждали проблему достоверного описания физической реальности в связи с существованием квантовых корреляций [8]. Квантовые корреляции возникают между квантовыми объектами, имеющими одинаковые волновые свойства (равные частоты

и длины волн их волновых функций, и определенное соотношение между фазами волновых функций); в квантовой механике такие квантовые объекты называют объектами с «перепутанными» (entangled) волновыми свойствами. За прошедшие десятилетия проведено много экспериментов, в которых исследовались свойства квантовых корреляций; причем к изменению свойств одного квантового объекта при изменении свойств другого, пространственно удаленного и квантово-коррелированного с первым, часто применяют термин «телепортация» [6; 12; 10; 3]. В проведенной серии экспериментов выдающимся надо считать эксперимент, проведенный в 2017 г. Д. Г. Рен и др. [9]. Исследовалась квантовая телепортация фотонов между автоматизированными установками, одна из которых находилась на Земле, другая на спутнике. При этом фотоны рассматривались как переносчики информации.

В предлагаемой работе рассматривается возможность и особенности использования квантовых корреляций для передачи информации между системами искусственного интеллекта. При этом рассматриваются два варианта: с внешней синхронизацией времени передачи информации и с автономной синхронизацией, осуществляемой взаимодействующими системами искусственного интеллекта.

К задачам, решаемым системами искусственного интеллекта при использовании квантовых корреляций относят:

- сбор информации (работа с детекторами, с каналами связи, в том числе со спутниковыми);
- хранение информации. Использование больших высокопроизводительных баз данных (наиболее распространенными из них в данное время считают Oracle, Microsoft SQL Server);
- математическую и логическую обработку информации (с использованием библиотечных и специальных подпрограмм, систем управления базами данных) и выработка рекомендаций и решений по некоторым проблемам;
- защиту информации: обеспечение физической целостности информации и конфиденциальности информации;
- обмен информацией с пользователями;
- обмен информацией с другими системами искусственного интеллекта.

Если системы искусственного интеллекта используются для управления работой сложных конструкций и работают в автономном режиме (например, находятся на спутниках в космосе), то для взаимодействия систем искусственного интеллекта существенными являются следующие характеристики:

- возможность обеспечения повышенной защиты передаваемой информации;
- возможность передачи информации со скоростью выше скорости света, то есть, выше скорости, например, распространения световой (визуальной) информации;
- минимальные энергетические потери.

Эти свойства могут иметь место, если взаимодействие систем искусственного интеллекта осуществляется посредством квантовых корреляций.

Свойства квантовых корреляций

Квантовые корреляции осуществляются между квантовыми объектами и принадлежат к категории явлений, которые называют единым термином «квантовая нелокальность». Квантовыми объектами в квантовой механике называют объекты, состояние которых описывается волновыми функциями. Например, волновая функция де Бройля $\Psi_B(\mathbf{x}, t)$ для квантового объекта с нулевой массой покоя может быть представлена в виде:

$$\Psi_B(\mathbf{x}, t) = \exp(i\mathbf{p}\mathbf{x} / \hbar - itU_k / \hbar), \quad (1)$$

где \mathbf{p} – количество движения квантового объекта; U_k – полная энергия квантового объекта; t – время; \hbar – постоянная Планка; \mathbf{x} – ось, вдоль которой происходит движение. Согласно уравнению (1) характеристики волновой функции квантового объекта определяются в виде

$$\omega = U_k / \hbar, \quad (2)$$

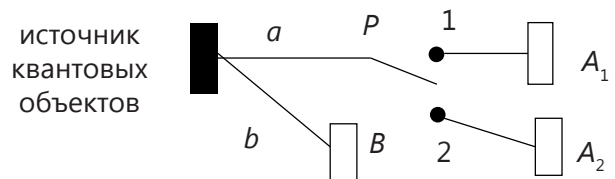
$$\lambda = \hbar / p, \quad (3)$$

где λ – длина волны волновой функции, ω – частота волновой функции [5].

Квантовые корреляции имеют максимальную эффективность, если осуществляются между квантовыми объектами, имеющими равные частоты волновых функций, определенное соотношение между фазами, и расстояние между ними меньше длины волны их волновых функций, то есть, можно сказать, что эти объекты описываются единой волновой функцией. Это означает, что согласно равенствам (1)–(2) эти квантовые объекты имеют равные энергии и определенное соотношение между количеством движения квантовых объектов и расстоянием между ними. Такие объекты называются «перепутанными» (entangled) квантовыми объектами. Если квантовыми объектами являются фотоны, то эти фотоны являются entangled, если они имеют одинаковые частоты и определенное взаимное

направление поляризации (частота волновой функции фотона равна частоте фотона, фаза волновой функции фотона связана с направлением его электрической поляризации).

Суть квантовых корреляций можно описать, используя следующий пример. Допустим, квантовые объекты a and b (рис. 1) испускаются некоторым источником квантовых объектов (если этими квантовыми объектами являются фотоны, то источником этих объектов может быть лазер) и в начальный момент времени описываются единой волновой функцией. Квантовые объекты направляются в разные стороны: объект a направляется в зависимости от позиции (1 или 2) переключателя P или по направлению к детектору A_1 или к детектору A_2 (эти детекторы имеют различные характеристики); объект b направляется к детектору B .



a и b – квантовые объекты; A_1 , A_2 и B – детекторы; P – переключатель с позициями 1 и 2.

Составлено авторами по материалам исследования / Compiled by the authors on the materials of the study

Рис. 1. Схема эксперимента, иллюстрирующего квантовые корреляции между квантовыми объектами

Figure 1. Diagram of an experiment illustrating quantum correlations between quantum objects

Таким образом, согласно постулатам квантовой механики детектируемые свойства объекта b зависят от того, какой детектор детектировал объект a .

Рассмотрим свойства квантовых корреляций.

1. Корреляции имеют место между квантовыми объектами как с ненулевой, так и с нулевой массой покоя (между фотонами).

2. Квантовые корреляции выравнивают значения волновых функций квантовых объектов, между которыми они возникают.

Детализируем это свойство, введя следующие обозначения: ω_1 , α_1 – соответственно частота и фаза волновой функции первого квантового объекта до начала действия квантовых корреляций; ω_2 , α_2 – соответственно частота и фаза волновой функции второго квантового объекта до начала действия квантовых корреляций; α_1' и α_2' – фазы волновой функции соответственно первого и второго квантовых объектов после осуществления квантовых

корреляций. Если, например, квантовыми объектами являются фотоны, то после осуществления квантовых корреляций значения фазы фотонов удовлетворяют следующему соотношению (при $\omega_1 = \omega_2$):

$$\alpha_1 - \alpha_1' = -(\alpha_2 - \alpha_2') \quad (4)$$

3. Квантовые корреляции имеют место между квантовыми объектами не только в момент одновременной регистрации объектов.

Экспериментально доказано, что корреляции между квантовыми объектами могут иметь место, когда один из квантовых объектов еще находится в физическом вакууме [2]. Это означает, что физический вакуум «принимает участие» в квантовых корреляциях, в частности, это означает, что квантовые корреляции могут осуществляться физическим процессом, распространяющимся в физическом вакууме.

4. Квантовые корреляции возникают независимо от расстояния между взаимодействующими квантовыми объектами [9, 12].

5. Скорость квантовых корреляций больше, чем скорость света; это следует из возможности квантовых корреляций фотонов, пространственно разделенных и одновременно испускаемых источниками.

Существуют эксперименты, демонстрирующие, что скорость квантовых корреляций больше, чем скорость света в 10^4 раз [10]. Этот факт не противоречит постулатам теории относительности, так как они действительны только для инерционных процессов [4], а квантовые корреляции являются безынерционным процессом. Последнее следует

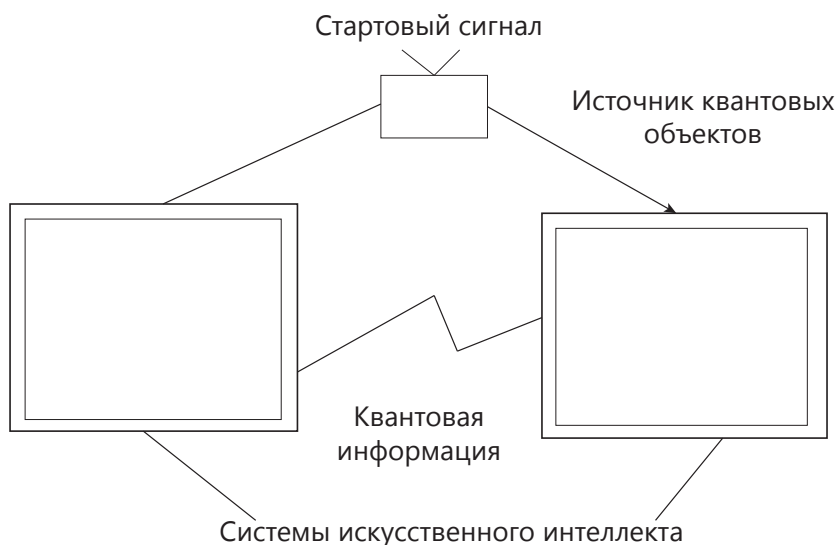
из того, что они осуществляются между квантовыми объектами, описываемыми единой волновой функцией, то есть, они не сопровождаются энергетическими потерями и, следовательно, образованием массы (вследствие известной, экспериментально проверенной связи между массой m энергией $E: E = mc^2$, где c – скорость света).

6) Как следует из экспериментов, квантовые корреляции имеют неэлектрическую и немагнитную природу, то есть они не экранируются электромагнитными экранами.

Передача информации между системами искусственного интеллекта с использованием квантовых корреляций

Характер информации, передаваемой между системами искусственного интеллекта, зависит, во-первых, от свойств entangled квантовых объектов (массы, заряда и т. д.); во-вторых, от характеристик систем искусственного интеллекта; в-третьих, от способа синхронизации времени передачи информации. Рассмотрим два варианта передачи информации между системами искусственного интеллекта: с внешней синхронизацией времени передачи информации и с автономной синхронизацией, осуществляемой взаимодействующими системами искусственного интеллекта.

Схема передачи информации между системами искусственного интеллекта с внешней синхронизацией времени передачи приведена на рисунке 2. Стартовый сигнал подается на источник «перепутанных» (entangled) квантовых объектов, ими могут



Составлено авторами по материалам исследования / Compiled by the authors on the materials of the study

Рис. 2. Схема передачи информации между системами искусственного интеллекта с внешней синхронизацией времени передачи

Fig. 2. Scheme of information transfer between artificial intelligence systems with external synchronization of transmission time

быть как фотоны, так и объекты с ненулевой массой покоя (в большинстве случаев используются фотоны). Испущенные источником квантовые объекты поступают в системы искусственного интеллекта. Детектирование квантовых объектов системами искусственного интеллекта сопровождается обменом информацией между ними.

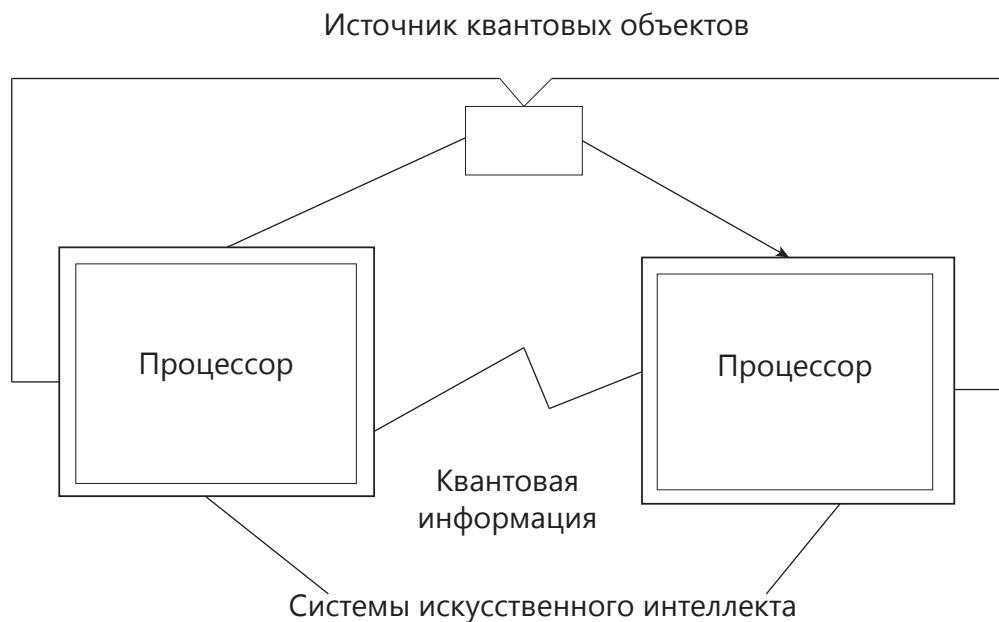
Безусловно, более высоким уровнем автоматизации является передача информации между системами искусственного интеллекта с использованием автономной синхронизации времени передачи. Схема такой передачи информации приведена на рисунке 3. В этом случае стартовый сигнал вырабатывается системами искусственного интеллекта. Для наглядности на рисунке 3 устройства выработки таких стартовых сигналов совмещены с одним из основных устройств автоматизированных комплексов: «процессорами».

Используя квантовые корреляции, в соответствии с равенством (4) возможно определение характеристик одной системы искусственного интеллекта, анализируя характеристики другой системы искусственного интеллекта. Однако при реализации этого направления исследования возникает ряд трудностей: во-первых, любое измерение характеристик квантовой системы ведет к изменению состояния этой системы и, во-вторых, осуществление временной синхронизации в функционировании

искусственных интеллектов при наличии внешних возмущений связано со значительными техническими трудностями. Это направление исследования может быть следующим этапом работы по теме: «квантовые корреляции и искусственный интеллект».

Заключение

Свойства квантовых корреляций (бездиссипативность, высокая скорость передачи данных, независимость от внешних электрических и магнитных полей, высокая степень защиты информации) позволяют применять их при обмене информацией между системами искусственного интеллекта. Для контроля функционирования систем искусственного интеллекта целесообразно использовать схему передачи информации между ними с внешней синхронизацией времени передачи; для повышения эффективности функционирования систем искусственного интеллекта целесообразно использовать схему передачи информации между ними с автономной синхронизацией. Основной трудностью в реализации передачи информации с помощью квантовых корреляций является необходимость использования перепутанных квантовых объектов, то есть, квантовых объектов с некоторыми взаимно зависимыми характеристиками их волновых функций.



Составлено авторами по материалам исследования / Compiled by the authors on the materials of the study

Рис. 3. Схема передачи информации между системами искусственного интеллекта с автономной синхронизацией, осуществляемой взаимодействующими системами искусственного интеллекта

Fig. 3. Scheme of information transfer between artificial intelligence systems with Autonomous synchronization performed by interacting artificial intelligence systems

Библиографический список

1. Указ Президента РФ от 10 октября 2019 г. № 490 «О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации» // СПС «КонсультантПлюс» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_335184/ (дата обращения: 01.05.2020).
2. Белинский, А. В. Квантовая нелокальность и отсутствие априорных значений измеряемых величин в экспериментах с фотонами // Успехи физических наук. 2001. Т. 173. № 8. С. 905–909.
3. Болдырева, Л. Б. Квантовая нелокальность. Примеры применения в технике и биологии // Междисциплинарный научный журнал «Сложные системы» (при МГУ). 2014. № 1(10). С. 31–45.
4. Борн, М. Эйнштейновская теория относительности. Москва. Мир, 1972. 369 с.
5. Вихман, Э. Квантовая физика / Берклевский курс физики. Т. IV. Москва. Наука, 1977. 416 с.
6. Клышко, Д.Н. Квантовая оптика: квантовые, классические и метафизические аспекты // Успехи физических наук. 1994. Т. 164. № 11. С. 1187–1214.
7. De Broglie, L.V. Ondes et quanta. C. R. 1923. No. 177. Pp. 507–510.
8. Einstein, A., Podolsky, B., Rosen, N. Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete? // Physical Review. 1935. Vol. 47. No.10. Pp. 777–780.
9. RenJi-Gang, et.al. Ground-to-satellite quantum teleportation, 2017 // Nature. 2017. No. 549. Pp. 70–73.
10. Scarani, V., Tittel, W., Zbinden, H., Gisin, N. The speed of quantum information and the preferred frame: analysis of experimental data // Physics Letters A. 2000. Vol. 276, No. 1–4. Pp. 1–7.
11. Schrödinger, E. An undulatory theory of the mechanics of atoms and molecules // Physical Review, 1926. No. 28(6). Pp. 1049–1070.
12. Tittel, W., Brendel, J., Gisin, B. et al. Experimental demonstration of quantum-correlations over more than 10 kilometers // Physical Review, 1998. No. 57. P. 3229.

References

1. Ukaz Prezidenta RF ot 10 oktyabrya 2019 g. No. 490 “O razvitii iskusstvennogo intellekta v Rossiiskoi Federatsii” [Decree of the President of the Russian Federation “On the Development of Artificial Intelligence in the Russian Federation” No. 490, dated on October 10, 2019], legal reference system “Consultant plus”. Available at: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_335184/ (accessed 01.05.2020).
2. Belinskii A.V. Kvantovaya nelokal’nost’ i otsutstvie opredelennykh znachenii izmeryaemykh velichin v eksperimentakh s fotonami [Quantum non-locality and the absence of a priori values for measurable quantities in experiments with photons], Uspekhi fizicheskikh nauk [Physics-Uspekhi (Advances in Physical Sciences)], 2001, vol. 173, no. 8, pp. 905–909.
3. Boldyreva L.B. Kvantovaya nelokal’nost’: Primery primeniya v tekhnike i biologii [Quantum non-locality. Examples of application in engineering and biology], Mezhdistsiplinarnyi nauchnyi zhurnal “Slozhnye systemy” (pri MGU), 2014, no. 1(10), pp. 31–45.
4. Born M. Einsteinskaya teoriya odnositel’nosti [Einstein’s theory of relativity], Moscow, Mir, 1972, 369 p.
5. Vikhman E. Kvantovaya fizika [Quantum physics], Berkleevskii kurs fiziki, T. IV [Berkeley physics course, Vol. IV], Moscow, Nauka, 1977, 416 p.
6. Klyshko D.N. [Quantum optics: quantum, classical, and meta-physical aspect]. Uspekhi fizicheskikh nauk [Physics-Uspekhi (Advances in Physical Sciences)], 1994, vol. 37, no.11, pp. 1187–1214.
7. De Broglie L.V. Ondes et quanta, C. R., 1923, no. 177, pp. 507–510.
8. Einstein A., Podolsky B., Rosen N. Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?, Physical Review, 1935, vol. 47, no. 10, pp. 777–780.
9. RenJi-Gang, [et. al.] Ground-to-satellite quantum teleportation, 2017, Nature, 2017, no. 549, pp. 70–73.
10. Scarani V., Tittel W., Zbinden H., Gisin N. The speed of quantum information and the preferred frame: analysis of experimental data, Physics Letters A, 2000, vol. 276, no. 1-4, pp. 1–7.
11. Schrödinger E. An undulatory theory of the mechanics of atoms and molecules, Physical Review, 1926, no. 28(6), pp. 1049–1070.
12. Tittel W., Brendel J., Gisin B. [et al]. Experimental demonstration of quantum-correlations over more than 10 kilometers, Physical Review 1998, no. 57, p. 3229.