

ЛАБОРАТОРИЯ КВАНТОВОЙ ИНФОРМАЦИИ

Научный отчет за 2005 г.

1. Наиболее значимые результаты за 2005 г.

Завершено исследование обобщения стандартного квантового измерения в форме перепутывающего измерения. Предложено и частично изучено обобщённое квантовое измерение, обладающее в информационном плане рядом важных качественных преимуществ по сравнению со стандартным и перепутывающим типами измерений. Оно описывается соответствующим вполне положительным супероператором и включает: *а)* стандартное проективное и перепутывающее измерения; *б)* мягкое (нечёткое) измерение; *в)* обобщённое измерение с частичным разрушением исходной информации. Выполнен детальный количественный информационный анализ обобщённого измерения для двухуровневой системы и продемонстрированы наиболее характерные зависимости информационных характеристик от параметров измерения.

Выполнено исследование возможностей оптимизации процедуры квантовой передачи ключа за счёт оптимизации квантового алфавита.

Выполнен количественный анализ динамики двух атомов в дипольной ловушке с учётом механизма дальнего радиационного взаимодействия.

Выполнен количественный анализ спектров резонанса когерентного пленения излучения в частотно-модулированном лазерном поле для модели трёхуровневых атомов.

2. Наиболее значимые результаты за последние 5 лет

Обобщена концепция стандартного квантового измерения на основе обобщённого понимания измеренной информации, которая теперь может иметь существенно квантовый характер и наряду с возможностью квазиклассической формы представления может быть представлена в форме квантовой перепутанности между объектом и прибором. Данное обобщение позволяет выйти за рамки стандартных измерений с деквантованием выходящей информации и рассматривать в терминах квантового измерения преобразования более общего вида, в которых существенно квантовая специфика как объекта, так и прибора.

Предложен новый, основанный на использовании неселективной информации, криптографический квантовый протокол с континуальным алфавитом, превосходящий по эффективности предложенные ранее, и для него доказано отсутствие порога по ошибкам в пределе использования бесконечномерного гильбертова пространства.

3. Список статей и препринтов за 2005г.

1. Гришанин Б.А., Задков В.Н. *Информационные свойства обобщенных квантовых измерений*, Квантовая Электроника, **35**(10), с. 923–928 (2005).
2. Grishanin B. A., Zadkov V. N. *Physical implementation of entangling quantum measurements*, Laser Phys. Lett. 2, No. 2, p. 106–111 (2005) / DOI 10.1002/lapl.200410136.
3. Сыч Д.В., Гришанин Б.А., Задков В.Н. *Анализ предельно возможных информационных характеристик протоколов квантовой криптографии*, Квантовая электроника, **35** (1), 80-84 (2005).
4. Sych D.V., Grishanin B.A., Zadkov V.N. *Copying of quantum information by means of a quantum amplifier*, Laser Phys. Lett., p. 1–4 (2005) [published on-line, DOI: 10049].
5. В.А. Макаров, В.О. Милицин, С.А. Шленов, В.В. Шувалов, Д.Н. Янышев, "Создание мультимедийного конспекта лекций по лазерной физике с использованием Flash-технологий", Физика в высшем образовании, **11**(2) (2005).
6. B.A.Grishanin, V.N.Zadkov, "Generalized quantum measurements. Part I: Information properties of soft quantum measurements", LANL E-print quant-ph/0506045 (2005).
7. B.A.Grishanin, V.N.Zadkov, "Generalized quantum measurements. Part II: Partially-destructive quantum measurements in finite-dimensional Hilbert spaces", LANL E-print quant-ph/0506046 (2005).
8. D.V.Sych, B.A.Grishanin, V.N.Zadkov, "Six-state protocol critical error rate can be exceeded", Proceedings of the IVth Int. Symp. on Modern Problems of Laser Physics, August 22-27, 2004, Novosibirsk, Russia (Novosibirsk, 2005), Eds. S.N.Bagayev, P.V.Pokasov, pp.450-460.
9. B.A.Grishanin, H. Takahashi, Yu. Vladimirova, D.Zhdanov, V.Zadkov, "Laser coherent control of an ensemble of randomly oriented chiral molecules", Proceedings of the IVth Int. Symp. on Modern Problems of Laser Physics, August 22-27, 2004, Novosibirsk, Russia (Novosibirsk, 2005), Eds. S.N.Bagayev, P.V.Pokasov, pp.444-449.
10. B.A.Grishanin, H. Takahashi, Yu. Vladimirova, D.Zhdanov, V.Zadkov, "Laser coherent control of an ensemble of randomly oriented chiral molecules", Laser Physics, **15**(9), 1247-1251 (2005).

11. D.N.Yanyshev, B.A.Grishanin, V.N.Zadkov, and D.Meschede, "Dynamics of atoms interacting via the radiation field in an optical dipole trap", *Laser Physics*, **15**(8), 1-15 (2005).
12. Yu.V.Vladimirova, B.A.Grishanin, D.V.Zhdanov, V.N.Zadkov, and H.Takahashi, "Laser asymmetric synthesis of enantiomers of hydrogen peroxide molecules from a racemic mixture without preliminary molecular orientation", *Bulletin of Moscow State Univ, Ser. 3. Physics. Astronomy. No. 6*, 37-41 (2005)
Ю.В.Владимирова, Б.А.Гришанин, Д.В.Жданов, В.Н.Задков, Х.Такахаша, "Возможность лазерного асимметричного синтеза молекул перекиси водорода из рацемической смеси без их предварительной ориентации", *Вестник МГУ. Серия 3. Физика. Астрономия. No. 6*, 37-41 (2005).
13. D.V.Sych, B.A.Grishanin, V.N.Zadkov, "Comparative characteristics of quantum key distribution protocols with alphabets corresponding to the regular polyhedrons on the Bloch sphere", *Proc. SPIE* **5833**, Ed. Yu.I.Ozhigov, pp. 229-238 (2005).
14. D.V.Sych, B.A.Grishanin, V.N.Zadkov, "Optimal alphabets for noise-resistant quantum cryptography", *Proc. SPIE* **5833**, Ed. Yu.I.Ozhigov, pp. 272-281 (2005).

4. Участие в конференциях в 2005 г.

1. **International Conference on Coherent and Nonlinear Optics (ICONO-2005), May 11-15, 2005, St. Petersburg, Russia, 2005**
B.A. Grishanin, V.N. Zadkov *The quantum measurement concept in application to quantum information processing*, Technical Digest, p. ISuK4 [ORAL]
D.V. Sych, B.A. Grishanin, V.N. Zadkov *Copying of quantum information by means of quantum amplifier*, Technical Digest, p. ISuK6 [ORAL]
G.Bevilacqua, V.Biancalana, E.Breschi, Y.Dancheva, L.Moi, Yu.V.Vladimirova, B.A.Grishanin, V.N.Zadkov, "Modulation laser spectroscopy of coherent dark resonances", Technical Digest, p. ISuA4 [ORAL]
Yu.V.Vladimirova, B.A.Grishanin, D.V.Zhdanov, V.N.Zadkov, H.Takahashi, "Laser coherent control of chiral states in nonoriented molecules", Technical Digest, p. IFO2 [POSTER]
D.N.Yanyshev, B.A.Grishanin, V.N.Zadkov, D.Meschede, "Dynamics of atoms interacting via the radiation field in an optical dipole trap", Technical Digest, p. ISuS9 [POSTER]
1. **International School NATO Advanced Study Institute "Physics and computer science", Cargese, Corsica, France, 17 - 29 October, 2005 (100 участников)**
D.V. Sych, B.A. Grishanin, and V.N. Zadkov *New QKD protocols: more complicated and more stable* [ORAL]
2. **International Symposium "Quantum Informatics - 2005", Zvenigorod, Russia, 3 - 7 October, 2005 (100 участников)**
D.V. Sych, B.A. Grishanin, and V.N. Zadkov *Copying of quantum information by means of a quantum amplifier* [ORAL]
3. **Fourth Russian-French Laser Symposium on "Sources, Materials, and Structures", Nice, France, September 21-23, 2005 (100 участников)**
D.V. Sych, B.A. Grishanin, and V.N. Zadkov *Quantum information theory in application to quantum cryptography* [INVITED]
4. **VIIth International Conf. "Correlation Optics 2005", Chernivtsy, Ukraine, September 6-9, 2005 (500 участников)**
D.V. Sych, B.A. Grishanin, and V.N. Zadkov *Quantum-information analysis of quantum cryptography protocols* [INVITED]
5. **NATO Advanced Study Institute on Quantum Computation and Quantum Information, Chania, Crete, Greece, 2-13 May 2005 (100 участников)**
D.V. Sych, B.A. Grishanin, and V.N. Zadkov *Optimal alphabets for noise-resistant quantum cryptography* [POSTER]
6. **Russian-German Laser Symposium (RGLS-2005), Nizhny Novgorod, October 1-4, 2005 (70 участников)**
Yu.V.Vladimirova, B.A.Grishanin, V.N.Zadkov, G.Bevilacqua, V.Biancalana, E.Breschi, Y.Dancheva, L.-Moi, "Theory of frequency-modulation spectroscopy of coherent dark resonances", Digest, pp. 63-64 [INVITED]
7. **2nd Photonics and Laser Symposium, 23-25 February 2005, Kajaani, Finland (50 участников)**
V. N. Zadkov, B.A.Grishanin, J.Vladimirova, D.Zhdanov, and H.Takahashi, "Asymmetric laser synthesis of chiral molecules from a racemic solution", Technical Digest, Eds Juha Kalliokoski and Kyosti KArttunen, ISBN 951-42-7654-X, pp. 54-55 (1995) [INVITED].

5. Информация о грантах, договорах, контрактах

1. Грант Российского министерства науки и технологий “Научная школа Р. В. Хохлова и С. А. Ахманова по когерентной и нелинейной оптике”
2. Номер, шифры (УДК, ГАСНТИ), номер госрегистрации (если есть)
3. Руководитель
4. Объём финансирования
5. Аннотационный отчет:

Завершено исследование обобщения стандартного квантового измерения в форме перепутывающего измерения. Данное измерение представляет выходную информацию не обязательно в классической, т.е. допускающей неограниченное размножение, форме и сохраняет исходную квантовую информацию объекта в состояниях двухкомпонентной системы объект-прибор. Недостатком этого класса квантовых измерений является его а) селективность по отношению к набору измеряемых переменных и б) полное разрушение когерентной квантовой информации в подсистеме только объекта, содержащейся в нём до измерения. Свойство б) при этом связано с полнотой извлекаемой измерительной информации и означает невозможность частичного сохранения специфически квантовой когерентной информации и её распределения между различными пользователями. Тем самым этот класс измерений слишком узок для постановки сколько-нибудь нетривиальной задачи оптимизации квантового измерения (отметим также, что рассмотрение задачи оптимизации измерений с учётом сохранения когерентной информации невозможно в традиционной технике описания обобщённых измерений с помощью положительной операторной меры – ПОМ, которая пригодна только к описанию измерений с деквантованным выходом). От указанных недостатков свободно обобщённое квантовое измерение, предложенное и изученное на данном этапе исследований.

Данное обобщение, помимо выявления потенциальных ресурсов, заключённых в преобразовании данного вида с точки зрения разработки новых методов преобразования квантовой информации, представляет фундаментальный интерес с точки зрения качественной интерпретации квантовой теории. Оно позволяет выявить наиболее общие соотношения между физическим содержанием преобразований квантовых систем и классической информацией, заключённой в значениях информационного индекса, устанавливающего взаимно однозначное соответствие между исходными и конечными квантовыми состояниями.

Смысл данного обобщения состоит в рассмотрении индексирующих измерений - преобразований объект-объект+прибор, с формальной точки зрения устанавливающих взаимно-однозначное соответствие с использованием классического индекса k между произвольным в общем случае переполненным набором квантовых состояний объекта и соответствующим ему набором классически совместимых состояний системы объект+прибор. Это преобразование описывается в общем случае соответствующим вполне положительным супероператором и, в частности – в случае полной когерентности измерения, обратимым изометрическим преобразованием.

Общее представление измерения в данной форме и его чисто когерентный вариант включают в единой форме: а) стандартное проективное и перепутывающее измерения при выборе в качестве отображаемой информации полного набора классически совместимых событий ортогонального базиса объекта и дублированного базиса системы объект-прибор; б) мягкое (нечёткое) измерение; в) обобщённое измерение с частичным разрушением исходной информации. Был проделан подробный количественный информационный анализ основных примеров обобщённого измерения для объекта в форме двухуровневой системы и продемонстрированы её наиболее характерные зависимости от параметров измерения.

В частности, было обнаружено, что полностью неселективный вариант обобщённого измерения обладает интересной особенностью, выражающейся в возможности достижения максимальной перепутанности в системе объект-прибор при промежуточной степени сохранения объектом заключённой в нём начальной информации. При максимальном же сохранении объектом начальной информации перепутанность достигает величины, очень близкой к максимальной, для любых начальных чистых состояний.

Неселективное измерение, реализуя равноправное измерение всех динамических переменных квантовой системы, характеризуется существенно более низким уровнем конкуренции квантовой информации между объектом и прибором по сравнению с полным селективным измерением. Переход к неселективному измерению, например, в схеме эксперимента [Nogues G., Rauschenbeutel A., Osnaghi S., Brune M., Raimond J. M., and Haroche S., Nature 400, 239 (1999)] по невозмущающему измерению числа фотонов в резонаторе соответствует переходу от измерения числа фотонов $n = 0, 1$ к измерению самого суперпозиционного состояния $c_0|0\rangle + c_1|1\rangle$ фотонного поля. При этом наиболее очевидная трудность реализации измерения подобного типа, как это следует из проведённого анализа, связана с необходимостью установления равноправной корреляции между каждым состоянием и соответствующими состояниями континуального набора ортогональных, т.е. классически различимых, состояний прибора. Однако, несмотря на трудности, связанные с поиском конкретной физической реализации обобщённых измерений, их принципиальная физическая реализуемость позволяет использовать их как основу для оценки потенциально достижимого качества обработки квантовых изображений.

6. Нет

7.

6. Особая информация

1. нет
2. нет
3. нет
4. нет
5. нет
6. Сыч Денис Васильевич, аспирант: *Совместимая информация как инструмент анализа квантовых информационных каналов*, Кандидатская диссертация, 2005
7. нет

7. Сведения о международном сотрудничестве

1. Грант Университета Васеда, Токио, Япония, для совместных исследований. Финансируется университетом Васеда
2. Номер -- нет
3. Задков В. Н.
4. нет
5. Финансирование осуществляется принимающей стороной
6. Аннотационный отчет: нет
7. нет

Составители отчета:
Б. А. Гришанин, В. Н. Задков