



## ИССЛЕДОВАНИЯ ДИСТАНЦИОННОГО ЛАЗЕРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СВОЙСТВА ЖИДКИХ СРЕД

Шаповалов Д.С., Некрасова Л.П., Пашенко Ф.Ф.

**Аннотация.** В данной работе представлены экспериментальные результаты по использованию нелокальных корреляций макроскопических объектов для инициирования химической реакции разложения перманганата калия с помощью лазера. Показаны разные варианты реализации адресности нелокальной корреляции как для единичных так и для группы тождественных объектов.

**Ключевые слова:** дистанционное воздействие, нелокальные корреляции, лазерное излучение, перманганат калия, спектры поглощения.

**Введение.** Исследования нелокальных корреляций начали развиваться в ранний период становления квантовой механики. Спор между её сторонниками и представителями классической физики был сведён к вопросу о скрытых параметрах, которые якобы не учитываются в экспериментах с квантовыми (микроскопическими) объектами и поэтому приводят к ряду парадоксальных результатов, в объяснении которых не было единого мнения [1]. В 1935 году Эйнштейн А., Подольский Б. и Розан Н. предложили мысленный эксперимент Э.П.Р. [2], который приводил, как они утверждали, к парадоксу. Парадокс состоял в следующем. Из источника испускаются два фотона, которые даже на больших расстояниях сохраняют корреляционную связь, хотя по канонам классической физики её не должно быть, так как взаимодействие между фотонами требовало распространения со скоростью большей, чем скорость света. В 1982 году А. Аспект, Ж. Делибар и Ж. Роже из Оптического института Парижского университета опубликовали экспериментальную работу, подтверждающую нелокальную природу существующей действительности [3].

Благодаря усилиям теоретика Бэлла [4] была разработана система неравенств, которая позволяла, пользуясь критериальными соотношениями, при анализе экспериментов сделать вывод о присутствии или отсутствии скрытых параметров. Тем самым подтверждался или отвергался вероятностный механизм квантовой механики. Начали проводиться многочисленные проверки неравенств Бэлла в различных экспериментах. В подавляющем большинстве случаев было получено подтверждение квантовой теории [4,5,6]. Одновременно начали развиваться прикладные направления, связанные с созданием квантовых компьютеров. В настоящее время работа с квантовыми объектами во многом стала обычной, техника создания нелокальных корреляций приобретает технологический вид. На первом этапе - создание спутанных состояний, на втором - удержание и хранение, затем - расчёт и использование для компьютерных операций [7, 8]. На фоне этой работы всё больший интерес вызывает другое направление, связанное с исследованием нелокальных корреляций многочастичных систем. Практически во всех случаях попытки перехода к макросистемам осуществляются путём увеличения числа квантовых объектов. Основные сложности при таких операциях - это температурный фактор и возможность хранения [9].

В данной работе частично удалось обойти эти проблемы. Уже сейчас нелокальные корреляции можно применять для управления сложными системами. Один из таких примеров мы и приводим в этой статье. При проведении экспериментов были учтены признаки, которые сопровождают нелокальные корреляции и все факторы, которые необходимы для их создания. Эффект макроскопической нелокальности проявляется как корреляция объектов или процессов без каких-либо локальных носителей взаимодействия. Это условие обеспечивалось полной световой изоляцией объекта воздействию и неопределённостью его места

расположения. Наличие скрытых параметров, а именно их отсутствие определялось по результатам анализа проб контроля. Достижение таких условий возможно путём создания начальных состояний, при которых объекты нелокальности находятся в сцепленном (спутанном) состоянии, так же как и для квантовых объектов.

Суть многочастичной квантовой запутанности заключается в том, что в единую систему соединяется некая совокупность одинаковых квантовых элементов. Принято считать, что такие элементы создаются путем квантового клонирования.

Основная цель работы - на примере дистанционного инициирования химической реакции показать возможности нелокальных корреляций макроскопических систем. Так как нелокальные корреляции предусматривают отсутствие какого либо взаимодействия между объектами, а так же наличие адресности между ними, проверка этих условий была основной задачей экспериментов.

Все эксперименты проводились в двух удалённых друг от друга помещениях, в одном готовились необходимые атрибуты нелокальных корреляций, в другом производился анализ воздействия. Связь обеспечивалась через скайп. Эксперименты по каждому этапу включали контрольные сопоставления.

### **Экспериментальная часть**

Исходный 0,02 моль/л (0,02 М) раствор перманганата калия ( $\text{KMnO}_4$ ) готовили из фиксанала. Рабочие растворы получали разбавлением исходного в 100 раз непосредственно перед экспериментом. Для подщелачивания растворов использовали 1 моль/л раствор  $\text{NaOH}$  (х.ч.). Для приготовления растворов использовали воду высокой чистоты, подготовленной на мембранном дистилляторе (ЗАО «БМТ», Владимир). Спектры поглощения растворов регистрировали на спектрофотометре UV-1800 (Shimadzu, Япония) и спектрофлуориметре CM 2203 в режиме спектрофотометра (ЗАО "Солар", Беларусь) в кварцевых (270 - 700 нм) и одноразовых полистирольных (340 - 700 нм) кюветах с толщиной поглощающего слоя 1 см. Облучение растворов перманганата калия проводили в кварцевых кюветах с тефлоновой пробкой. Для облучения растворов использовали зеленый лазер 21SFR (длина волны 532 нм. 20мвт).

Задача эксперимента состояла в дистанционном инициировании восстановления перманганата в водном растворе лазерным излучением. Перманганат калия интенсивно поглощает свет в видимой области спектра. Поэтому, за ходом реакции удобно следить путем измерения оптической плотности ( $D$ ) в максимуме длинноволновой полосы поглощения.

$$D = \lg(I_0/I) = scl,$$

где  $I_0$  и  $I$  - интенсивность падающего и прошедшего через образец света,  $s$  - коэффициент молярного погашения перманганата калия при фиксированной длине волны,  $л \text{ моль}^{-1} \text{ см}^{-1}$ ,  $c$  - концентрация поглощающего вещества,  $\text{моль л}^{-1}$ ,  $l$  - толщина поглощающего слоя, см. Единица измерения оптической плотности - бел (Б).

Все эксперименты проводились в двух разных помещениях. В одном готовились образцы, в другом - состояния, обеспечивающие нелокальные корреляции. Все образцы изолировались и располагались таким образом, что исключались любые попадания световых потоков на раствор перманганата калия. Проверка адресности обеспечивалась путём пересылки номера пробы или фотографии из помещения образцов в помещение воздействий, при этом расположение образцов неизвестно.

## Результаты и обсуждение эксперимента

Перманганат калия является сильным окислителем и легко вступает в окислительно-восстановительные реакции со многими соединениями. Окисление воды протекает по схеме :



Скорость реакции невелика, однако под действием света реакция существенно ускоряется [17]. Скорость разложения зависит от концентрации раствора, интенсивности и спектрального состава света. Поскольку  $\text{KMnO}_4$  интенсивно поглощает свет в видимой области спектра, наблюдение за стабильностью растворов удобно осуществлять спектрофотометрически. Длинноволновая полоса поглощения перманганата калия имеет ряд максимумов, самые интенсивные 525 нм ( $\tau = 2430$ ) и 545 нм ( $\tau = 2320$ ). Перед проведением основного эксперимента были проведены предварительные измерения по воздействию на перманганат калия прямого лазерного излучения и естественного освещения. На рис. 1 представлены спектры поглощения свежеприготовленного раствора перманганата калия в слабощелочной среде при естественном освещении. Заметно падение интенсивности в основной полосе поглощения, при этом одновременном увеличении оптической плотности в области минимумов в спектре поглощения - 270 нм и 420 нм.

D, бел

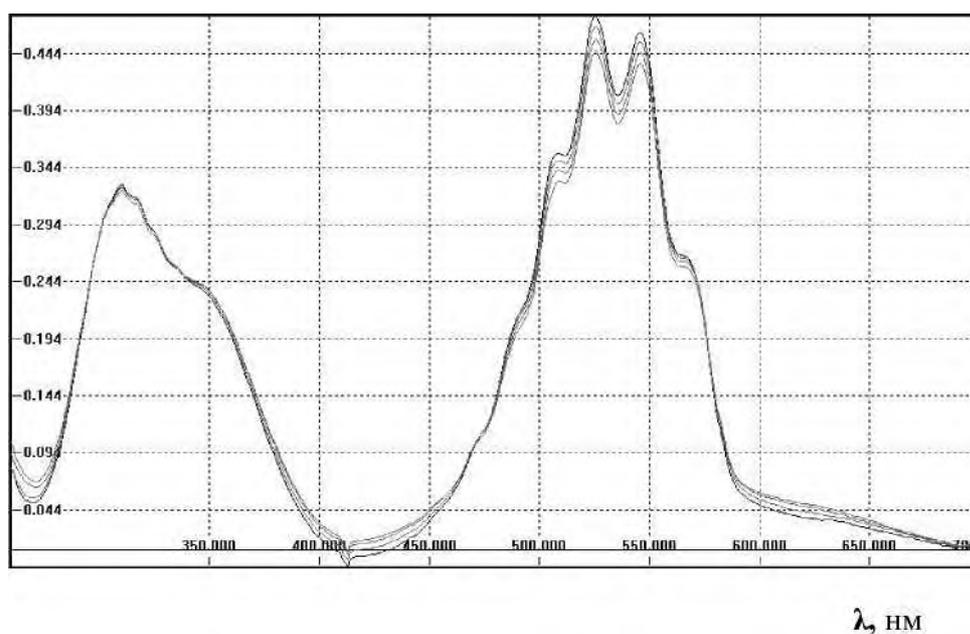


Рис. 1. Изменение спектра поглощения слабощелочного раствора перманганата калия ( $C_{\text{KMnO}_4} = 0,0002$  моль/л;  $C_{\text{NaOH}} = 0,005$  моль/л) при комбинированном освещении (дневной и искусственный свет, в отсутствие солнечного) в порядке уменьшения оптической плотности при 525 нм: непосредственно после разбавления, через 30 минут, через 1 час 30 минут, через 4 часа.

Учитывая фотохимическую неустойчивость водных растворов перманганата калия, было изучено влияние прямого облучения растворов светом зеленого лазера. Облучение раствора лазером приводит к заметному ускорению разложения перманганата калия.

Относительное падение оптической плотности в максимуме поглощения за время эксперимента составило 15,8% при лазерном облучении и 8,7% - при естественном. Сравнение скорости разложения перманганата калия при лазерном и естественном освещении проводили следующим образом. Готовили 0,0002 моль/л раствор перманганата калия в 0,005 М NaOH,

помещали раствор в кварцевые кюветы с тефлоновыми пробками и измеряли спектры поглощения растворов. Одна кювета находилась в условиях естественного освещения, другая была облучена светом зеленого лазера. Через определенные интервалы времени измеряли спектры поглощения растворов в обеих кюветах. Динамика изменения оптической плотности при длине волны 525 нм представлена на рисунке 2.

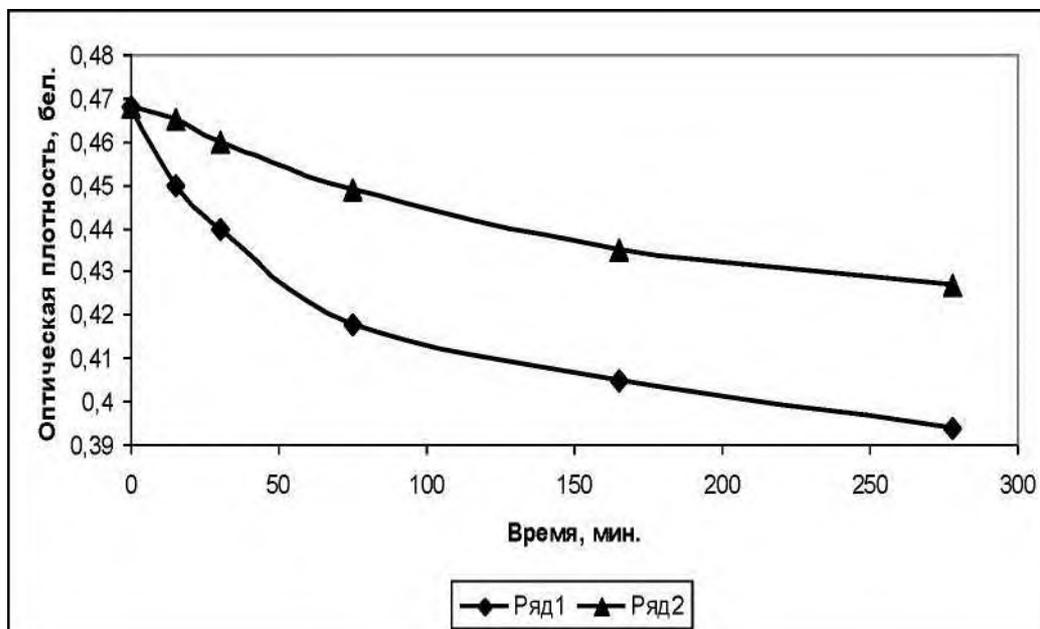


Рис. 2. Изменения оптической плотности ( $\lambda = 525$  нм) растворов при и лазерном (1) и дневном (2) облучении

### Дистанционное воздействие на единичный образец

Дистанционное воздействие на раствор перманганата калия осуществляли следующим образом. Исследуемый образец помещали в закрытую коробку для предотвращения попадания света. Источник лазерного излучения находился в другом помещении. Расстояние между исследуемым образцом и лазером составляло 20 метров. Условия эксперимента полностью исключали прямое попадание лазерного излучения на образец. Детектирование дистанционного воздействия проводили путем сравнения скорости изменения оптической плотности в максимуме (525 нм) и минимуме (270 нм) поглощения перманганата калия. Контрольный образец также хранили в темноте. Время воздействия составляло от 4 до 18 часов. Сравнение исследуемого и контрольного образцов проводили спустя сутки после прекращения воздействия и в течение последующих 7 суток. Был проведен ряд экспериментов, которые продемонстрировали одинаковые тенденции. В качестве примера в таблице 1 приведены результаты некоторых экспериментов.

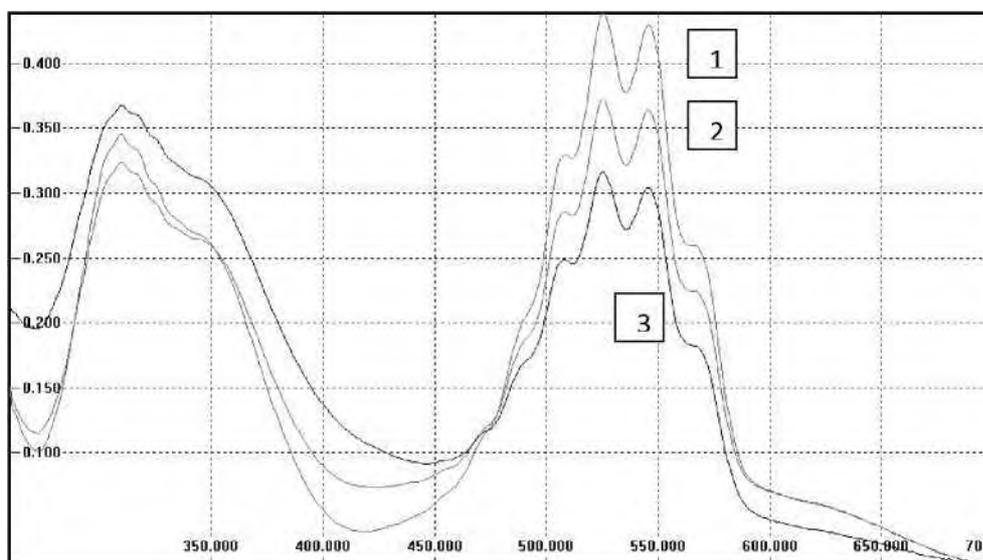
Таблица 1.

Изменение оптической плотности растворов при дистанционном воздействии лазером на единственный образец.

№ эксперимента	Время воздействия	Время от начала воздействия	Контрольный образец		Исследуемый образец	
			D <sub>270</sub>	D <sub>525</sub>	D <sub>270</sub>	D <sub>525</sub>
1	18 часов	0	0,076	0,465	-	-
		48 часов	0,096	0,437	0,259	0,367
2	4 часа	0	0,061	0,491	-	-
		24 часа	0,076	0,462	0,109	0,434
		5 суток	0,074	0,459	0,156	0,369
		8 суток	-	-	0,195	0,316
3	4 часа	0	0,079	0,484	-	-
		24 часа	0,103	0,438	0,116	0,372

На рисунке 3 представлены изменения спектра поглощения раствора перманганата калия при дистанционном воздействии .

D, бел



$\lambda$ , нм

Рисунок 3. Изменение спектра поглощения слабощелочного раствора перманганата калия при дистанционном воздействии на единственный образец в течение 4 часов светом зеленого лазера (532 нм): 1 - исходный раствор, 2 - спустя 24 часа , 3 - спустя 8 суток (в порядке уменьшения оптической плотности при 525 нм).

Из графиков видно, что, несмотря на полную изоляцию источника воздействия от образца при условии неизвестного его расположения, изменения в растворе перманганата калия осуществлялись по адресному типу. При этом дистанционное воздействие отличалось

от прямого примерно на 28 % (табл. 2).

Таблица 2.

Восстановление перманганата калия под действием различных факторов.

№	Воздействующий фактор	Время воздействия, час	Доля восстановленного $\text{KMnO}_4$
1	Естественное освещение	4	0,08
2	Прямое действие лазера	4	0,16
3	Дистанционное воздействие лазера	4	0,11
4	Дистанционное воздействие лазера	18	0,21
5	Без воздействия (контрольный образец хранился в темноте)	18	0,04

Экспериментальные данные показывают, что наблюдаемая скорость разложения перманганата калия в исследуемом образце существенно больше, чем в контрольном. Полученные результаты свидетельствуют о наличии дистанционного воздействия во всех проведенных экспериментах по типу нелокальных корреляций.

#### **Дистанционное воздействие на массив образцов**

Эксперимент проводили следующим образом. В 5 одноразовых спектрофотометрических кювет из полистирола заливали одинаковое количество раствора перманганата калия, закрывали открытую часть кюветы лентой PARAFILM, измеряли оптическую плотность раствора при 525 и 416 нм в каждой кювете и помещали кювету в коробку для предотвращения попадания света. Каждой кювете присваивали номер от 1 до 5. Воздействие осуществляли через фотографию выбранной кюветы. Выбор кюветы осуществлялся независимым экспериментатором. Фотографию выбранной кюветы пересылали по электронной почте экспериментатору, осуществляющему адресное воздействие. Время воздействия составляло 12 часов. Задача состояла в нахождении кюветы, на которую было оказано дистанционное воздействие. Спустя 24 часа проводили повторное измерение оптической плотности раствора в каждой кювете. Рассчитывали разность ( $D_0 - D$ ) при длине волны 525 нм для каждой кюветы. Кювету, в которой ( $D_0 - D$ ) была максимальной, считали искомой. Также провели 5 контрольных эксперимента в серии из 5 кювет без воздействия. Даже при отсутствии воздействия скорость разложения в серии растворов имеет некоторый разброс (табл. 3).

Таблица 3.

Результаты экспериментов по дистанционному воздействию на массив образцов.

№ эксперимента	№ пробы	$(D_0 - D)_{525}$ исследуемый образец	$(D_0 - D)_{525}$ контрольный образец
1	1	0,013	0,019
	2	0,023	0,027
	<b>3</b>	<b>0,041</b>	0,029
	4	0,014	0,021
	5	0,029	0,023
2	1	0,048	0,026
	2	0,049	0,029
	3	0,030	0,033
	<b>4</b>	<b>0,054</b>	0,029
	5	0,016	0,035
3	1	0,008	0,018
	<b>2</b>	<b>0,069</b>	0,017
	3	0,017	0,017
	4	0,009	0,016
	5	0,019	0,018
4	1	0,023	0,022
	2	0,026	0,032
	<b>3</b>	<b>0,043</b>	0,031
	4	0,014	0,029
	5	0,017	0,028
5	1	0,038	0,01
	2	0,010	0,017
	<b>3</b>	<b>0,047</b>	0,016

	4	0,011	0,015
	5	0,012	0,016

Средние значения ( $D_0 - D$ ) в исследуемых и контрольных сериях статистически значимо не отличаются, однако характер распределения значений носит другой характер. Среднее стандартное отклонение в серии без воздействия и в условиях дистанционного воздействия составляют 0,0037 и 0,0089 соответственно. Было проведено 6 экспериментов. Полученный результат соответствует теореме [10], по которой существует правило запрета на клонирование тождественных состояний.

### Заключение

Эксперимент по дистанционному, не прямому воздействию показал, что используя нелокальные корреляции можно инициировать химические реакции в произвольном направлении по адресному типу для отличающихся объектов и по вероятностному для тождественных. В результате эксперимента показана возможность дистанционного восстановления пермаганата в водном растворе под воздействием лазерного излучения.

### Список литературы

1. A. Einstein, B. Podolsky and N. Rosen, Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?, Phys. Rev. 47, 777 (1935).
2. J. S. Bell, On the Einstein Podolsky Rosen paradox, Physics 1, 195 (1964); Also reproduced in, J. S. Bell, Speakable and Unspeakable in Quantum Mechanics, 2nd Edition, Cambridge University Press (2004).
3. A. Aspect, P. Grangier and R. Roger, Experimental Tests of Realistic Local Theories Via Bell's Theorem, Phys. Rev. Lett. 47, 460 (1981).
4. For more details see the review, J. F. Clauser, and A. Shimony, Bell's theorem. Experimental tests and implications, Rep. Prog. Phys. 41, 1881 (1978).
5. A. Aspect, P. Grangier and R. Roger, Experimental Realization of Einstein-Podolsky-Rosen-Bohm Gedankenexperiment: A New Violation of Bell's Inequalities, Phys. Rev. Lett. 49, 91 (1982).
6. A. Aspect, J. Dalibard and R. Roger, Experimental Test of Bell's Inequalities Using Time Varying Analyzers, Ibid, 1804 (1982).
7. P. Benio, The Computer as a Physical System: A Microscopic Quantum Mechanical Hamiltonian Model of Computers as Represented by Turing Machines, J. Stat. Phys. 22, 563 (1980).
8. D. Deutsch, Quantum theory, the Church-Turing principle and the universal quantum computer, Proc. Royal Soc. London A 400, 97 (1985).
9. V. Vedral, Quantifying entanglement in macroscopic systems, Nature 453, 1004 (2008).
10. W.K. Wootters and W.H. Zurek, A Single Quantum Cannot be Cloned, Nature 299 (1982), pp. 802-803.