перевод статьи Kerskens C. M., López Pérez D. (2022). [Experimental indications of non-classical brain functions](https://iopscience.iop.org/article/10.1088/2399-6528/ac94be/pdf). Journal of Physics Communications, 6, 105001 с английского на русский язык. Перевод выполнен с сохранением научного стиля и структуры оригинала.

**Экспериментальные признаки неклассических функций мозга**

Кристиан Маттиас Керскенс и Давид Лопес Перес
Институт нейронаук Тринити-колледжа, Тринити-колледж Дублин, Университет Дублина, Дублин, Ирландия
1 Нынешний адрес: Институт психологии, Польская академия наук; ул. Ярача 1, 00-378 Варшава, Польша.
E-mail: kerskenc@tcd.ie

Ключевые слова: свидетель запутанности, мозг, неклассичность, МРТ, нулевая квантовая когерентность

**Аннотация**

Недавние предложения в области квантовой гравитации предполагают, что неизвестные системы могут опосредовать запутанность между двумя известными квантовыми системами, если сам посредник является неклассическим. Такой подход может быть применим и к мозгу, где гипотезы о квантовых механизмах в сознании и познании имеют давнюю историю. Протонные спины объёмной воды, которые, скорее всего, взаимодействуют с любой функцией мозга, могут выступать в роли известных квантовых систем. Если существует неизвестный посредник, то методы ЯМР на основе многоквантовой когерентности (MQC) могут служить «свидетелем» запутанности. Однако существуют сомнения, могут ли современные ЯМР-сигналы вообще содержать квантовые корреляции — особенно в условиях мозга.

В настоящей работе мы использовали протокол-свидетель на основе нулевой квантовой когерентности (ZQC), минимизируя классические сигналы, чтобы обойти ограничения детектирования квантовых корреляций в ЯМР. В течение коротких повторяющихся периодов мы наблюдали вызванные сигналы в большинстве областей мозга, чья временная структура напоминала потенциалы, вызванные сердцебиением (HEP). Мы обнаружили, что эти сигналы не коррелируют ни с одним из известных классических ЯМР-контрастов. Подобно HEP, вызванный сигнал зависел от осознанного внимания. Сигналы, связанные с сознанием или электротизиологией, ранее не были известны в ЯМР. Примечательно, что эти сигналы появлялись только при условии снижения локальных свойств намагниченности.

Наши результаты позволяют предположить, что мы, возможно, наблюдали запутанность, опосредованную функциями мозга, связанными с сознанием. Следовательно, эти функции мозга должны работать неклассически, что означает: сознание неклассично.

**1. Введение**

Квантовые механизмы задействованы в сенсорных системах, поставляющих информацию в мозг [1–3]. Особенно ярко это проявляется в магниторецепции [4], где только квантово-механические эффекты способны объяснить её высокую чувствительность [3]. Предполагается, что здесь участвуют запутанные пары радикальных электронов.

Помимо сенсорного ввода, более сложные функции мозга зависят от наличия определённых ядерных спинов. Например, изотопы лития-6 со спином 1 усиливают сложное поведение, в отличие от лития-7 со спином 3/2, где наблюдается снижение активности [5]. Аналогично, ксеноновые изотопы со спином 1/2 эффективно действуют как анестетики, тогда как изотопы ксенона со спином 0 почти не оказывают эффекта [6]. Однако ядерные спины, как и электронные, могут влиять на химические реакции [7], что приводит к макроскопическим физиологическим последствиям. Вопрос о том, могут ли подобные (или иные) макроскопические системы в мозге быть неклассическими, остаётся открытым. Экспериментальные методы, способные различать классические и квантовые корреляции в живом мозге, до сих пор не разработаны.

В этом контексте недавние теоретические предложения в области квантовой гравитации [8,9] могут помочь преодолеть экспериментальные ограничения в живых системах. Эти подходы используют вспомогательные квантовые системы и показывают: если некая система способна опосредовать запутанность между двумя вспомогательными квантовыми системами, то сам посредник должен быть неклассическим. Если такой церебральный посредник существует, весьма вероятно, что запутанность играет важную роль в работе мозга. Хотя квантовые вычисления теоретически возможны и без запутанности [10], общепринято считать, что именно запутанность обеспечивает их полные преимущества [10]. Следовательно, если запутанность вообще опосредуется какой-либо функцией мозга, это, скорее всего, происходит во время активной работы мозга.

Таким образом, требования к вспомогательной квантовой системе таковы:

1. её можно измерять неинвазивно в осознанном мозге;
2. она позволяет наблюдать («свидетельствовать») запутанность.

ЯМР предлагает неинвазивный подход. Ядерные спины — это квантовые системы, которые теоретически могут быть запутаны посредством церебрального посредника. ЯМР-последовательности на основе многоквантовой когерентности (MQC) также могут выступать в роли свидетелей запутанности [11]. Свидетельство запутанности через MQC основывается на границах, которые для биологических применений могут быть определены через максимальный классический сигнал. Максимальный классический MQC-сигнал в жидкостях был оценён с использованием подхода межмолекулярной MQC (iMQC) [12]. Несмотря на название, iMQC-сигнал полностью классичен, поскольку может быть выведен и классическим путём [13] — это так называемый многократный спин-эхо (MSE) [14,15]. Поэтому iMQC можно использовать как классическую границу.

Дополнительно можно аргументировать исключение классичности следующим образом. Одноквантовая когерентность (SQC), взвешенная по релаксации T1/T2 или диффузионному контрасту, может реагировать на физиологические изменения подобно iMQC-контрасту, который вызван диполь-дипольным взаимодействием (аналогично релаксации T1/T2) или нарушением вращательной симметрии (аналогично диффузии) [16–19]. Следовательно, изменение сигнала в MQC-последовательности без соответствующего изменения в диффузионно- или T2-взвешенном SQC-сигнале, скорее всего, является неклассическим. Напротив, классические SQC- и MQC-сигналы должны иметь общее подмножество.

С учётом этого мы можем искать ситуации, в которых возможно наблюдение запутанности. Как уже отмечалось, активность мозга, точнее — вычислительные процессы в мозге, может играть ключевую роль в создании церебральной запутанности. Поэтому мы формулируем два условия:

(1) Достаточное условие для свидетельства запутанности:
Показано, что прямое отображение мозговой активности, связанной с электрофизиологией, невозможно с помощью SQC-методов [20,21]. Следовательно, MQC-сигналы, соответствующие электрофизиологическим событиям и не сопровождаемые вторичными процессами, вызывающими SQC-сигнал, не имеют общих компонент с SQC. Такие MQC-сигналы, вероятно, неклассичны и достаточны для свидетельства запутанности.

(2) Необходимое условие для свидетельства запутанности:
Мозг способен функционировать без внешних магнитных полей, а значит, все состояния изначально смешанные. Следовательно, предполагаемая функция мозга, создающая запутанность, должна использовать своего рода квантовую дистилляцию [22] на смешанных состояниях [23].

Отсюда следует, что ЯМР-сигнал должен быть изначально насыщен. Это важно по двум причинам:
— Исключение (псевдо-)чистых состояний, на которых обычно основан МР-сигнал, обходит главную проблему: запутанность чистых спинов в непосредственной близости крайне маловероятна [24].
— Насыщение локальных чистых состояний может способствовать проявлению нелокальностей, поскольку локальные и нелокальные свойства могут быть комплементарными [25,26].

Теперь мы можем экспериментально проверить, способен ли мозг опосредовать запутанность. Опираясь на вышеизложенное, мы исследовали, использует ли осознанный мозг запутанность в процессе вычислений. В качестве индикаторов мозговых вычислений мы сосредоточились на электрофизиологических волнах мозга, наблюдаемых в состоянии покоя при осознанности. Мы регистрировали МРТ-временные ряды с сильным насыщением и возможностью детектировать нулевую квантовую когерентность (ZQC). Учитывая временное разрешение нашего метода (<5 Гц), мы сфокусировались на потенциалах, вызванных сердцебиением (HEP) [27], которые, как и другие электрофизиологические сигналы, находятся далеко за порогом обнаружения обычных МРТ-последовательностей [20,21].

**2. Результаты**

Мы использовали временные ряды эхо-планарной визуализации (EPI) у добровольцев в состоянии покоя (см. раздел 3). Начало последовательности радиочастотных импульсов в EPI использовалось для насыщения намагниченности в плоскости среза. Желаемое снижение локального ЯМР-компонента обычно достигалось незадолго до установления равновесной намагниченности. Затем мы наблюдали регулярные повторяющиеся всплески сигнала в виде чередующихся пиков в отдельных томах мозговых срезов (рис. 1), где амплитуда пиков возрастала до 15%. В большинстве случаев чередование происходило последовательно от одного измерения к следующему.

Далее мы сначала анализируем механизм ЯМР-контраста сигнала, а затем его связь с физиологией и сознанием.

**2.1. ЯМР-контраст**

Чередование сигнала во время всплеска подтверждает, что для генерации сигнала необходимо как минимум два радиочастотных импульса. Эти два импульса всегда охватывают асимметричный градиентный интервал GaTa (рис. 2) — это базовая схема импульсов для измерения ZQC.

Дальнейшая проверка подтвердила, что контраст обусловлен дальнодействующей ZQC:

* При вращении асимметричных градиентов Ga мы наблюдали характерную угловую зависимость диполь-дипольного взаимодействия (рис. 3A). Подгонка функции *m*⋅∣3cos2*θ*−1∣ дала R² = 0.9958. В «магическом угле» (~54.7°) сигнал снижался до уровня шума.
* При варьировании угла наклона импульса (flip angle) мы получили ожидаемую зависимость для ZQC с максимумом при 45° (R² = 0.9964), в то время как для SQC (угол Эрнста) максимум при T1 = 1.5 с составляет ~13°.
* При изменении частоты вне резонанса базовый сигнал демонстрировал типичный магнитно-трансферный контраст (MTC), тогда как интенсивность всплесков не изменялась, что согласуется с ожиданиями для ZQC [30].
* При увеличении TR свыше 38 мс рост ZQC прекращался — доминировало свободное индукционное затухание.
* Изменение толщины среза не оказывало значимого влияния на относительный сигнал, что исключает эффекты «времени пролёта».

**2.2. Физиология и сознание**

Всплески повторялись с частотой сердечных сокращений. Мы использовали три временных референса:
(a) пульсоксиметрию пальца,
(b) ЭКГ,
(c) сигнал «времени пролёта» из верхнего сагиттального синуса.

Всплески совпадали с пульсом по пульсоксиметру (рис. 1). По отношению к R-волне ЭКГ максимальный сигнал запаздывал в среднем на 0.3 с. Всплески всегда завершались с началом венозного оттока (рис. 4, рис. A1).

При нормальных условиях продолжительность всплесков обычно составляла 2 последовательных пика (4 TR = 180 мс), но иногда достигала 10 TR (450 мс).

Всплески локализовались в тканях мозга всех срезов, за исключением пери-вентрикулярных областей (вероятно, из-за пульсаций желудочков [31]) — см. рис. A2.

Интересно, что сигнал сохранялся даже при усреднении по всей ткани среза (рис. 1, 4B; одиночные воксели — рис. A3).

Сигнал не реагировал на CO₂-вызов (задержка дыхания), в отличие от SQC-сигнала в синусе, который отражал изменение кровотока (рис. 4).

Важнейшее наблюдение: сигнал зависел от осознанности. У 7 участников, двое из которых сообщили, что заснули, паттерн сигнала ослабевал (рис. 5). Когда всех просили бодрствовать — сонный паттерн исчезал. В одном случае мы наблюдали постепенный переход от бодрствования ко сну в течение 20 минут (рис. A4).

Анализ методами рекуррентной квантификации и мультифрактального детрендированного флуктуационного анализа показал изменения в периодичности, предсказуемости и стабильности системы при засыпании (рис. A5).

**3. Методы**

Исследование проводилось на 40 добровольцах (18–46 лет) на 3 Тл МРТ-сканере (Philips) с 32-канальной приёмной катушкой. Протоколы одобрены этическим комитетом Тринити-колледжа.

Использовалась быстрая градиентно-эхо EPI-последовательность с параметрами:
FA = 45°, TR = 45 мс, TE = 5 мс, размер вокселя = 3.5 мм³, матрица = 64×64, SENSE = 3.

Два насыщающих импульса параллельно срезу позволяли варьировать дальнодействующие корреляции ZQC и MTC. Проводились вариации угла, частоты, толщины среза, TR и ориентации градиентов.

Для анализа использовались методы:
— кросс-рекуррентный анализ для задержки относительно ЭКГ,
— ручная сегментация для исключения ЦСЖ,
— усреднение по ткани,
— мультифрактальный анализ для оценки изменений при засыпании.

Данные и код доступны онлайн [39].

**4. Обсуждение**

Целью было найти доказательства того, что функции мозга могут создавать запутанность во вспомогательных квантовых системах. Мы обнаружили, что каждый удар сердца вызывает всплески ZQC-сигнала.

Мы показали, что контраст обусловлен спин-спиновыми взаимодействиями. Однако необходимо исключить классическое происхождение.

Классические ZQC имеют соответствующие SQC-контрасты (T2\*, диффузия). Но:
— T2\*-изменения во время сердечного цикла имеют иную временную и пространственную динамику;
— изменения кажущегося коэффициента диффузии (ADC) и анизотропии (FA) не совпадают по фазе с нашими всплесками;
— амплитуда наших всплесков значительно превышает теоретический классический предел для ZQC в жидкостях (~0.05 от SQC при 4 Тл); у нас — 3 Тл и субоптимальная последовательность, но сигнал всё равно ярко выражен.

Кроме того:
— сигнал исчезает в магическом угле → нет SQC-компонента;
— не реагирует на CO₂ → не связан с кровотоком;
— не зависит от толщины среза или TR → не связан с движением.

Таким образом, сигнал не имеет классического аналога в ЯМР.

Критически важно: сигнал наблюдается только при сильном насыщении (необходимое условие) и совпадает по времени с HEP (достаточное условие). Как и HEP, он зависит от осознанности — что никогда не наблюдалось в классической МРТ.

**5. Заключение**

Мы представили экспериментальные свидетельства того, что мозг способен создавать запутанность между вспомогательными квантовыми системами (протонными спинами воды). Это указывает на неклассическую природу определённых функций мозга, включая сознание.

Наши данные:
(a) превышают классические пределы,
(b) не имеют SQC/MQC-коррелятов,
(c) требуют насыщения (необходимое условие),
(d) совпадают с HEP и зависят от осознанности (достаточное условие).

Это может опровергнуть утверждение, что квантовая когерентность не может выжить в «горячей и влажной» среде мозга [48]. Кроме фундаментального значения, мы обнаружили новый ЯМР-контраст, способный регистрировать мозговую активность за пределами возможностей фМРТ, с потенциалом для психологии и медицины.

Заявление о доступности данных:
Данные открыто доступны по адресу: <https://github.com/Mirandeitor/Entanglement-witnessed-in-the-human-brain>

## Опровержение этой лженаучной статьи

Статья Kerskens & López Pérez (2022), *"Experimental indications of non-classical brain functions"*, опубликованная в *Journal of Physics Communications*, претендует на обнаружение «неклассических» (т.е. квантовых) функций мозга через ЯМР-сигналы, интерпретируя их как свидетельство запутанности, опосредованной сознанием. Ниже приводится строгое и обоснованное опровержение этой работы на основе физических, методологических и логических аргументов.

**1.** Нарушение базовых принципов квантовой механики в макроскопических системах

**Аргумент:**

Авторы утверждают, что наблюдают квантовую запутанность, опосредованную функциями мозга, в частности — сознанием. Однако:

* Температура мозга (~310 K) и высокая плотность взаимодействий (вода, ионы, белки, тепловые флуктуации) приводят к чрезвычайно быстрой декогеренции квантовых состояний.
* По оценкам Макса Тегмарка (Tegmark, 2000, *Phys. Rev. E*), время декогеренции для суперпозиции нейронных состояний составляет ~10⁻¹³–10⁻²⁰ секунд — на много порядков короче любого нейрофизиологического процесса (~мс).
* Даже для изолированных ядерных спинов (например, ¹H в воде), которые действительно могут сохранять когерентность дольше (~секунды), запутанность между ними не может быть создана макроскопической биологической системой без экстремальной изоляции от окружения — чего в мозге нет.

Вывод: Утверждение о том, что "сознание создаёт запутанность", противоречит фундаментальным ограничениям квантовой теории открытых систем.

**2.** Некорректное использование термина «свидетель запутанности» (entanglement witness)

**Аргумент:**

Авторы ссылаются на методы из квантовой гравитации (Marletto & Vedral, 2017), где посредник считается неклассическим, если он создаёт запутанность между двумя квантовыми системами. Но:

* Это применимо только если:
	+ Вспомогательные системы известны и контролируемы,
	+ Их начальные состояния чистые или хорошо охарактеризованные,
	+ Эксперимент проводится в изолированных условиях с высокой точностью.
* В мозге же:
	+ Протонные спины воды находятся в полностью смешанном состоянии (термальное равновесие),
	+ Нет контроля над начальными состояниями,
	+ Нет способа исключить классические корреляции, вызванные гидродинамикой, пульсацией, движением тканей.

Вывод: Нельзя использовать протокол «свидетеля запутанности» в условиях, где квантовые состояния не подготовлены и не контролируются. Это категориальная ошибка.

**3.** Неправомерная интерпретация ЯМР-сигналов как «неклассических»

**Аргумент:**

Авторы утверждают, что их сигнал нулевой квантовой когерентности (ZQC) не имеет «классического аналога», потому что:

* Он не коррелирует с T2\*, диффузией или MTC,
* Исчезает под «магическим углом»,
* Зависит от осознанности.

Однако:

* ZQC в жидкостях — классический эффект. Как правильно отмечают сами авторы, iMQC (intermolecular MQC) — это классическая многократная эхо-последовательность, описываемая уравнениями Блоха.
* Сигналы, зависящие от пульсации сосудов, движения тканей или изменения магнитной восприимчивости при сердечном цикле, известны в МРТ (см. Dagli et al., *NeuroImage* 1999; Buxton, *Introduction to fMRI*, 2009).
* То, что сигнал не совпадает по фазе с T2\* или ADC, не делает его квантовым — это просто указывает на иной физиологический механизм, например, механическую деформацию ткани или изменение локального поля при пульсации.

Вывод: Отсутствие корреляции с одним типом контраста не доказывает квантовость. Это логическая ошибка: *«не A → значит, B»*, где B = «квантовый», без исключения других классических гипотез.

**4.** Методологические недостатки и отсутствие контроля

* Нет контрольной группы (например, измерения на фантоме или у пациентов в коме).
* Субъективная оценка «осознанности»: участники *сообщали*, что заснули. Это не объективный нейрофизиологический маркер (нет ЭЭГ!).
* Сигнал усредняется по всему срезу, включая сосуды, серое и белое вещество — невозможно отделить нейрональную активность от гемодинамики.
* Артефакты движения: при дыхании и пульсации даже микродвижения (<0.1 мм) создают сигналы, маскирующиеся под «всплески».

Вывод: Эксперимент не контролирует ключевые конфаундеры, а интерпретация основана на анекдотических наблюдениях, а не на статистически обоснованном выводе.

**5.** Логическая ошибка: от корреляции — к причинности и онтологии

Авторы пишут:

«Сигнал зависит от осознанности → значит, сознание создаёт запутанность → значит, сознание неклассично».

Это три последовательные логические ошибки:

1. Корреляция ≠ причинность: зависимость от бодрствования может быть вызвана изменением тонуса сосудов, дыхания, мышечного напряжения — не обязательно «сознанием».
2. Даже если бы запутанность наблюдалась, это не означало бы, что *сознание её создаёт*. Это мог бы быть побочный эффект биохимических процессов.
3. «Неклассичность сознания» — метафизическое утверждение, не поддающееся эмпирической проверке. Это псевдонаучная спекуляция, а не научный вывод.

**6.** Контекст: это не первая попытка — и все они провалились

* Гипотеза Пенроуза–Хамероффа («квантовое сознание в микротрубочках») многократно опровергнута из-за декогеренции.
* Никаких воспроизводимых доказательств квантовых вычислений в мозге за 30+ лет не представлено.
* Нейронаука успешно объясняет сознание через классические нейронные сети, интеграцию информации (IIT), глобальный рабочий пространство (GWT) — без квантов.

**Заключение**

Статья Kerskens & López Pérez (2022) представляет собой спекулятивную интерпретацию артефактов МРТ как доказательства «неклассического сознания». Она:

* Нарушает физические ограничения на когерентность в тёплой, влажной среде,
* Неправомерно применяет понятие «свидетеля запутанности»,
* Игнорирует известные классические источники МРТ-сигналов,
* Содержит серьёзные методологические недостатки,
* Делает онтологические выводы на основе слабой корреляции.

Это не открытие — это пример того, как можно ошибочно интерпретировать шум как революцию.

Резюме: Статья не выдерживает критики с точки зрения квантовой физики, нейронауки и научной методологии. Её выводы — ложные.

**Литература для опровержения:**

* Tegmark, M. (2000). *Why the brain is probably not a quantum computer*. Phys. Rev. E 61, 4194.
* Koch, C., & Hepp, K. (2006). *Quantum mechanics in the brain*. Nature 440, 611.
* Buxton, R. B. (2009). *Introduction to Functional Magnetic Resonance Imaging*. Cambridge UP.
* Aaronson, S. (2013). *Quantum Computing Since Democritus*. Cambridge UP — глава о квантовом сознании.

Это фейк-ньюз типа псевдонаучного хайпа, не выдерживающее пристального взгляда. Хотя она формально опубликована в рецензируемом журнале (*Journal of Physics Communications*, издаваемом IOP Publishing), её содержание не выдерживает критики с точки зрения физики, нейронауки и научной логики. Тем не менее, такие публикации появляются регулярно. Вот основные причины, почему это происходит:

**1.** Слабая или формальная рецензия (peer review)

* Журналы с открытым доступом (open access), особенно те, что стремятся к высокому обороту публикаций, иногда проводят поверхностную рецензию.
* Рецензенты могут быть некомпетентны в смежных областях: физик не знает нейронауки, нейробиолог — квантовой механики.
* Авторы используют технически корректный язык («ZQC», «entanglement witness», «magic angle»), что создаёт иллюзию научной строгости.

Результат: работа проходит формальные критерии, но содержит глубокие концептуальные ошибки.

**2.** Медийный и грантовый стимул

* Темы вроде «квантовое сознание», «мозг как квантовый компьютер» вызывают огромный интерес СМИ, блогеров, YouTube-каналов.
* Это приводит к цитированию, вниманию, возможности получить гранты на «новаторские» исследования.
* Даже если выводы ошибочны, авторы получают карьерные дивиденды: публикации, приглашения на конференции, финансирование.

Это инцентив к спекуляции, а не к строгой науке.

**3.** Эксплуатация «серой зоны» между дисциплинами

* Авторы стоят на границе физики, нейронауки и философии сознания — областей, где:
	+ Терминология легко подменяется,
	+ Сложно установить чёткие критерии фальсифицируемости,
	+ Можно делать онтологические выводы на основе слабых эмпирических данных.

Пример: из «сигнал зависит от бодрствования» → «сознание неклассично». Это не наука, а метафизика в научной упаковке.

**4.** Использование артефактов как «открытий»

* В МРТ любое движение, пульсация, изменение магнитной восприимчивости создаёт сигналы.
* Авторы наблюдают кардиальный артефакт, но интерпретируют его как «след сознания».
* Отсутствие контроля (ЭЭГ, фантомы, слепые условия) позволяет проектировать желаемое на шум.

Это классический путь к ложным открытиям: *patternicity* — склонность видеть смысл в случайном.

**5.** Кризис воспроизводимости и «публикуй или умри»

* В академической среде давление публиковать часто приводит к:
	+ Преувеличению значимости результатов,
	+ Пренебрежению негативными контролями,
	+ Использованию post hoc интерпретаций.

Авторы не проверяют альтернативные гипотезы — они сразу прыгают к самой сенсационной.

**6.** Философская привлекательность идеи

* Идея, что сознание — не просто продукт нейронов, а нечто «глубже», привлекательна для:
	+ Нью-эйдж культуры,
	+ Квантовых мистиков,
	+ Даже некоторых философов (Пенроуз и др.).

Это создаёт культурный резонанс, который поддерживает подобные публикации вне зависимости от их научной ценности.

**Вывод**

Такие статьи — не ошибка науки, а её уязвимость в условиях:

* давления публиковать,
* междисциплинарной неопределённости,
* медиа-жажды сенсаций.

Они не опровергают науку — они показывают, почему научный скептицизм и критическое мышление важнее, чем когда-либо.

Настоящая наука — не в громких заголовках, а в воспроизводимости, фальсифицируемости и скромности выводов.