

### Исходные работы Леггетта

- A. J. Leggett and A. Garg. Quantum Mechanics versus Macroscopic Realism: Is the Flux There When Nobody Looks? Phys. Rev. Lett. 54, 857-860 (1985).
- A.J. Leggett. Nonlocal Hidden-Variable Theories and Quantum Mechanics: An
- A.J. Leggett et al. A strict experimental test of macroscopic realism in a superconducting flux qubit. ArXiv:1601.03728v2 [quant-ph] 15 Jan 2016

Два типа неравенств Леггетта:

- “Темпоральное” неравенство Леггетта-Гарга (квантовый кубит)
- “Пространственное” неравенство Леггетта (поляризация фотонов)

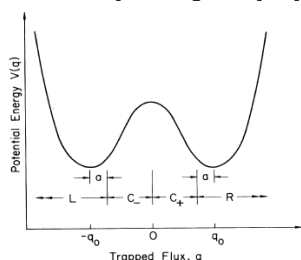
### Определение МАКРОРЕАЛИЗМА:

- Некоторый *макроскопический* объект, обладающий двумя или более возможными макроскопически различимыми состояниями, *в любой момент времени находится в только одном из этих состояний.*

- 1 -

### “Темпоральное” неравенство Леггетта-Гарга (квантовый кубит)

В радиочастотный СКВИД – сверхпроводящий квантовый интерферометр – включен сверхпроводящий туннельный переход Джозефсона. Там потенциал  $V(q)$  для “вмороженного” магнитного потока  $q$  имеет симметричную форму:



При пропускании импульсов тока 170 нА в течение 9 нс возникают т.н. “осцилляции Раби”. Авторы вводят макроскопическую наблюдаемую  $Q$ , которая принимает значение +1, когда потоку  $q$  соответствует значение из левой (L) области графика, и значение -1, когда потоку  $q$  соответствует значение из правой (R) области графика.

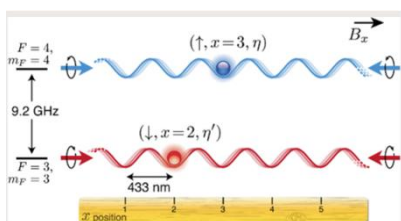
В 1985 г. Леггетт и Гарг вывели неравенство для трех серий измерений:

$$| Q_2 (Q_1 + Q_3) | \leq | 1 + Q_1 \cdot Q_3 |$$

В 2015 г. Леггетом и сотрудниками было экспериментально установлено нарушение этого неравенства

- 2 -

В 2015 г. международная группа ученых из Германии и Великобритании с точностью до шести стандартных отклонений показала, что для атомов цезия, охлажденных до сверхнизких температур и движущихся в созданном оптическом поле периодическом потенциале, нарушаются неравенства Леггетта — Гарга. Вероятность ошибки при такой точности составляет примерно 1 шанс из 500 миллионов. Эти неравенства определяют соотношения между координатами одной и той же частицы, измеренные в разные моменты времени. Их нарушение означает принципиальную невозможность свести эволюцию атома к движению по какой-либо определенной траектории.



Д-р. ф-м. н. А. Рубцов (интервью “Пост-науке”): оказалось возможным для одной частицы убедиться, что она движется не по определенной траектории, а по целой совокупности траекторий. Это и показало нарушение неравенств Леггетта — Гарга, в которые входят корреляции между положениями частицы в различные моменты времени, применительно к массивной частице — атому цезия

- 3 -

### “Пространственное” неравенство Леггетта (поляризация фотонов)

В 2003 г. Леггетт применил свою идеологию к другой ситуации: допустив возможность взаимного нелокального влияния ЭПР-фотонов, он вывел неравенство иного типа. Это неравенство основано на допущении о том, что до измерения фотоны обладают хорошо определенной поляризацией. Нарушение подобного неравенства опровергает существование широкого класса нелокальных теорий со скрытыми параметрами, тогда как теории с локальными скрытыми параметрами противоречат известному неравенству Белла – Клаузера – Хорна – Шимони – Холта.

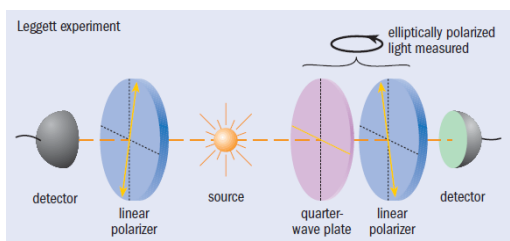
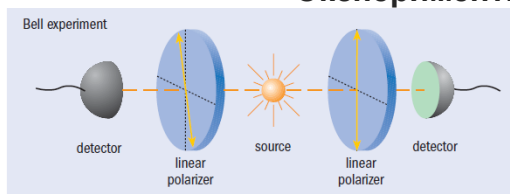
В статье группы Цайлингера это неравенства Леггетта было представлено (и затем проверено) в виде

$$|E_{kl}(\varphi) + E_{k'l'}(0)| + |E_{pq}^\perp(\varphi) + E_{p'q'}^\perp(0)| \leq 4 - \frac{4}{\pi} |\sin \frac{\varphi}{2}|$$

где  $E_{kl}$ ,  $E_{pq}^\perp$  - усредненные по настройкам функции корреляции (определенные в двух взаимно ортогональных плоскостях на сфере Пуанкаре) с одним и тем же разностным углом  $\varphi$ .

- 4 -

### Эксперименты группы Цайлингера (2007)

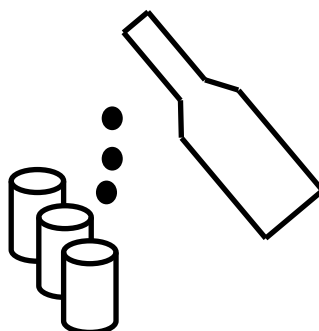


В Леггетт-эксперименте корреляция между линейной поляризацией одного фотона и эллиптической поляризацией другого фотона, как можно показать, нарушает “реалистическую” точку зрения даже в случае допущения нелокальных коммуникаций. Как показано на рисунке, круговая и эллиптическая поляризация одиночных фотонов может быть измерена с помощью комбинации четвертьволновых пластинок (quarter-wave plate) и линейных поляризаторов (linear polarizer).

A quantum renaissance / Physics World июль 2008

<http://vcq.quantum.at/fileadmin/Publications/2008-14.pdf>

Как важно быть серьезным (☺) ...  
при формулировке модели



Вопрос: Сколько капель в бутылке?

Ответ: Капля как хорошо определенная “реальная” сущность возникает, только отделившись от остальной жидкости в бутылке, и прекращает свое существование, присоединившись к жидкости в стакане

**Вопросы:**

- Через какую щель пролетает фотон (или электрон) в эксперименте с двумя щелями?
- Каким спином обладает частица, пролетая через устройство Штерна Гелаха?

**Ответ:** Квантовая частица существует как “реальная” сущность ДО начала и ПОСЛЕ окончания измерения. В период измерения она находится в состоянии суперпозиции (т.е. *не в хорошо определенном состоянии*).

“В то время, как *нелокальность* представляет собой манифестацию квантового запутывания, еще не ясно, насколько действительно фундаментальным является это понятие: сущность квантовой физики может состоять еще в чем-то <...>. Например, *индетерминизм* является другим важным свойством квантовой физики, не связанным напрямую с нелокальностью.”

[N. Gisin et al. Experimental Falsification of Leggett’s Non-Local Variable Model arXiv:0708.0584v1 [quant-ph] 6 Aug 2007]

- 7 -

Существует ли Луна, когда на нее никто не смотрит?  
*А. Эйнштейн*



Когда наблюдается Луна (или любой другой объект, например – электрон, проходящий через щель), тем самым выполняется некоторое измерение этого объекта и, вообще говоря, его изменение. Другой вопрос, что степень изменения может быть очень малой или, напротив, радикальной.

[https://yandex.ru/images/search?img\\_url=http%3A%2F%2Flovestih.ru%2Fwp-content%2Fuploads%2F2012%2F10%2Feta-no4.jpg&\\_id=1456804045254&nomisspell=1&text=%D0%BD%D0%BE%D1%87%D1%8C%20%D0%B4%D0%B5%D0%B2%D1%83%D1%88%D0%BA%D0%B0&noreask=1&pos=3&rpt=simage&lr=213](https://yandex.ru/images/search?img_url=http%3A%2F%2Flovestih.ru%2Fwp-content%2Fuploads%2F2012%2F10%2Feta-no4.jpg&_id=1456804045254&nomisspell=1&text=%D0%BD%D0%BE%D1%87%D1%8C%20%D0%B4%D0%B5%D0%B2%D1%83%D1%88%D0%BA%D0%B0&noreask=1&pos=3&rpt=simage&lr=213)

- 8 -

Переводы основных материалов по теме (со ссылками на оригиналы)  
можно найти на сайте М.Х. Шульмана

[www.timeorigin21.narod.ru](http://www.timeorigin21.narod.ru)

Russian version → Переводы → Квантовантовая механика и нелокальность

Электронный адрес А.В. Белинского: [belinsky@inbox.ru](mailto:belinsky@inbox.ru)

Электронный адрес М.Х. Шульмана: [shulman@dol.ru](mailto:shulman@dol.ru)

**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ !**