



Суперкомпьютерные дни в России
2023

**Отделение информации от
материи в современной
квантовой механике**

А.В. Ланкин

Московский физико-технический институт (ГУ)
ОИВТ РАН



Москва,
26 сентября 2023



Содержание

1. Принцип локальности

2. Контрафактные измерения

3. Контрафактная связь

4. Применение контрафактных процедур
при квантовых вычислениях

5. Заключение

Принцип локальности

Принцип локальности

Любое взаимодействие между частицами требует участие промежуточного переносчика - частицы или волны.

Следствие:

- Причинная связь возможна только между событиями внутри конуса причинности.
- Передача сообщения от отправителя к получателю имеющему конечную температуру всегда требует переноса по каналу связи конечного количества энергии между ними.

Максимальная энергетическая эффективность классического канала связи

$$\frac{W}{C} \approx kT \ln(2)$$

C - пропускная способность канала, бит/с

W – мощность принимаемого сигнала, Вт

T – температура приемника, К

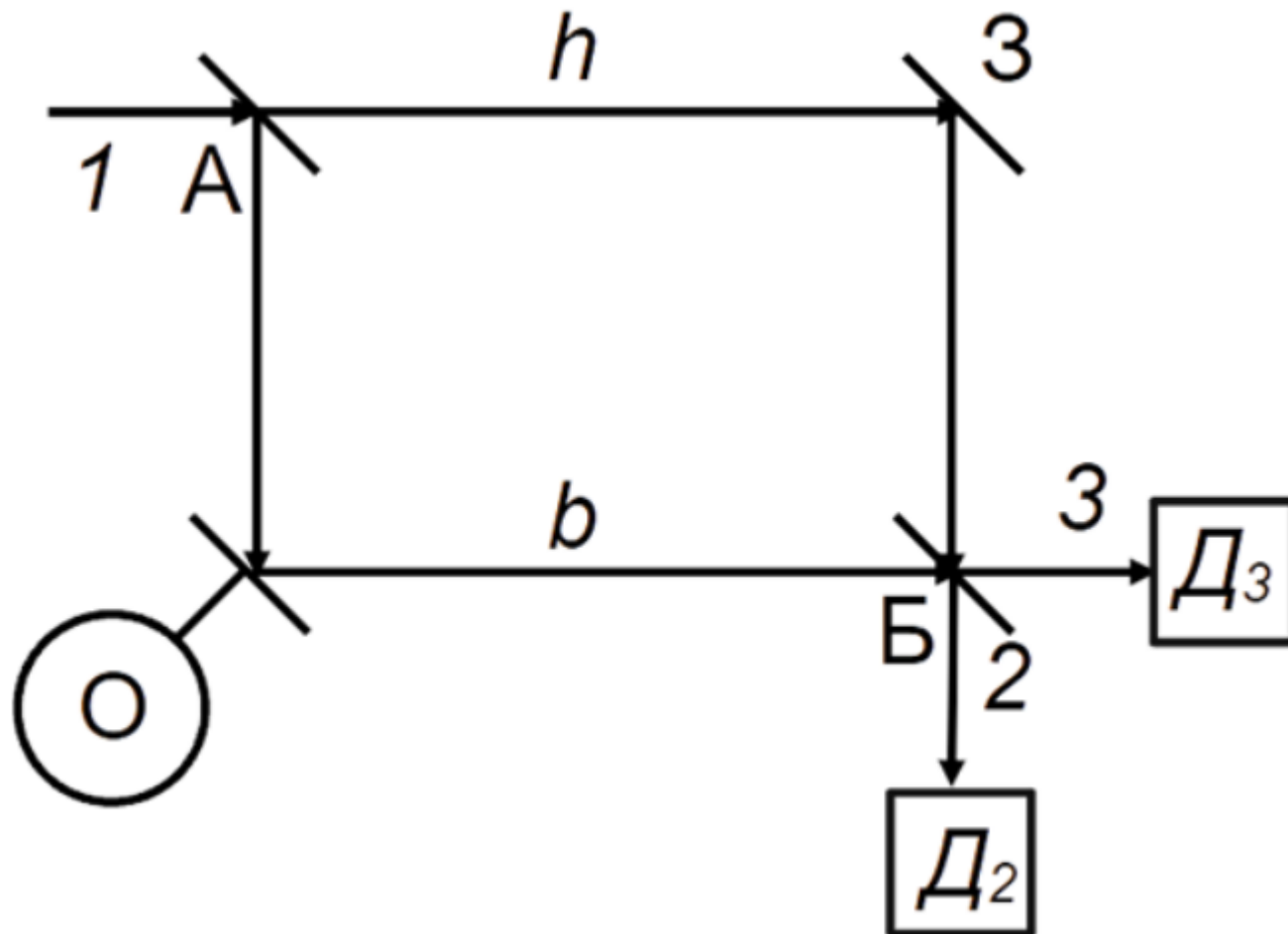
Верно для любой классической локальной теории поля

Является ли нелокальность квантовой механики реальной или лишь кажущейся?

Необходимы ли для появления эффектов нелокальности переплетенные состояния?

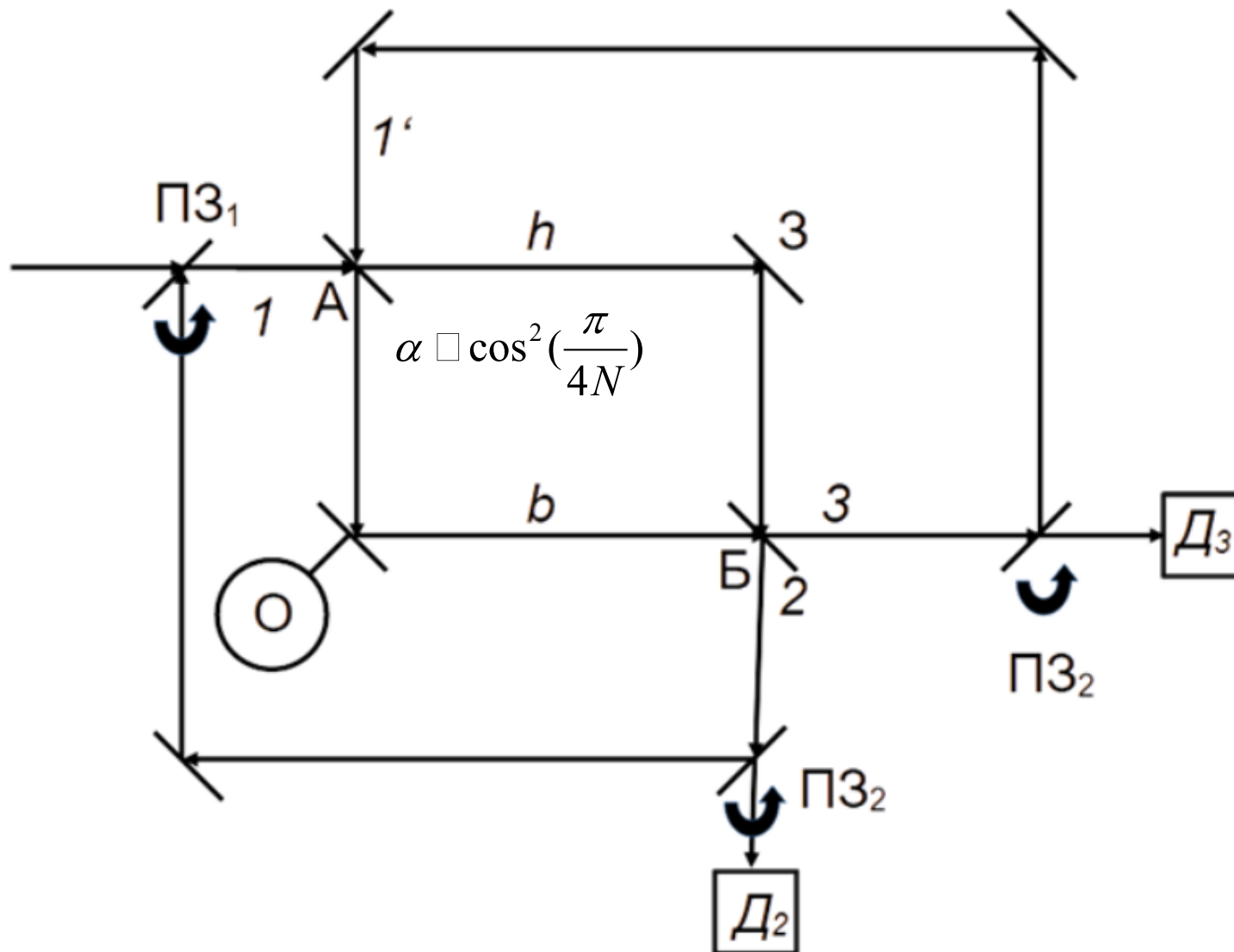
Контрафактные измерения

Протокол Элицура-Вайдмана – измерение без реального взаимодействия



С вероятностью 25% обнаруживает детектор без реального взаимодействия с ним.

Улучшенный протокол Элицура-Вайдмана – эффект Зенона



Улучшенный протокол Элицура-Вайдмана – эффект Зенона

Вероятность срабатывания датчика:

$$\lim_{\alpha \rightarrow 1} p \approx \lim_{\alpha \rightarrow 1} (1 - \exp[-\frac{\pi}{2} \sqrt{1 - \alpha}]) \approx 0$$

Проверка датчика без взаимодействия.

Улучшенный протокол Элицура-Вайдмана – эффект Зенона

Средний поток энергии в канале датчика

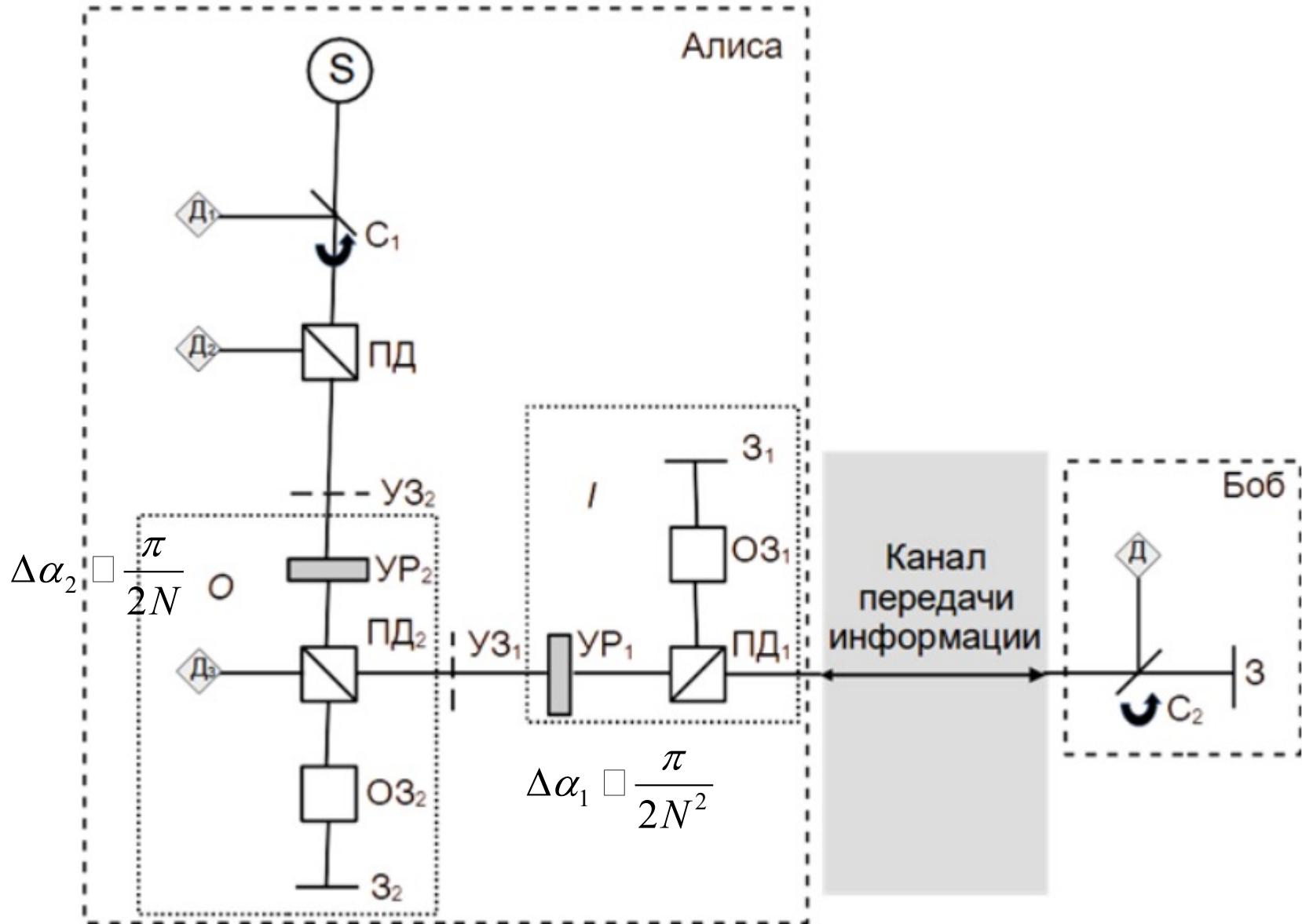
$$\lim_{\alpha \rightarrow 1} W \square \lim_{\alpha \rightarrow 1} h \nu p \square \lim_{\alpha \rightarrow 1} h \nu (1 - \exp[-\frac{\pi}{2} \sqrt{1 - \alpha}]) \square 0$$

Т.е. существует α такое что $W < kT \ln(2)$

Нарушается энергетическое условие.

Контрафактная связь

Контрафактная связь



Контрафактная связь

Средний поток энергии в канале передачи информации при передаче 0

$$\lim_{N \rightarrow \infty} W \square \lim_{N \rightarrow \infty} h \nu \sin^2 \left(\frac{\pi}{2N} \right) \sin^2 \left(\frac{\pi(N^2 - 1)}{2N^2} \right) \square 0$$

Средний поток энергии в канале передачи информации при передаче 1

$$\lim_{N \rightarrow \infty} W \square \lim_{N \rightarrow \infty} h \nu \left[1 - \exp \left(-\frac{\pi^2}{4N} \right) \right] \square 0$$

Контрафактная связь

В обоих случаях существует N такое что $W < kT \ln(2)$

При передаче любого сообщения поток энергии в канале связи может быть сделан сколь угодно малым.

Нарушается энергетическое условие.

Контрафактная связь

Из нарушения энергетического условия следует,
что перенос информации идет без участия
промежуточных частиц переносчиков



Имеет место нарушение локальности,
информация переносится отдельно от материи

Аппарат SIC-POVM

Понимание нелокальности: аппарат SIC-POVM (symmetric, informationally-complete, positive operator-valued measures)

На гильбертовом пространстве размерности d введем множество из d^2 векторов, удовлетворяющих условию:

$$\langle \psi_i | \psi_j \rangle = \frac{1 + d \cdot \delta_{ij}}{1 + d}$$

И множество операторов проектирования

$$\hat{\Pi}_j = |\psi_j\rangle \langle \psi_j|$$

А так же определим наблюдаемые

$$\hat{H}_i = \frac{1}{d} \hat{\Pi}_i \qquad \sum_i \hat{H}_i = \hat{I}$$

Понимание нелокальности: аппарат SIC-POVM (symmetric, informationally-complete, positive operator-valued measures)

Тогда матрицу плотности произвольной квантовой системы можно записать как

$$\rho = \sum_{i=1}^{d^2} \left[(d+1)P(H_i) - \frac{1}{d} \right] \hat{\Pi}_i$$

$$P(H_i) = \text{tr}[H_i \rho] \qquad 0 \leq P(H_i) \leq 1; \sum_i P(H_i) = 1$$

Любая квантовая система полностью описывается набором положительных вещественных чисел, удовлетворяющих аксиоматике теории вероятности!

Понимание нелокальности: аппарат SIC-POVM (symmetric, informationally-complete, positive operator-valued measures)

Но меняется правило полной вероятности

Классический предел:

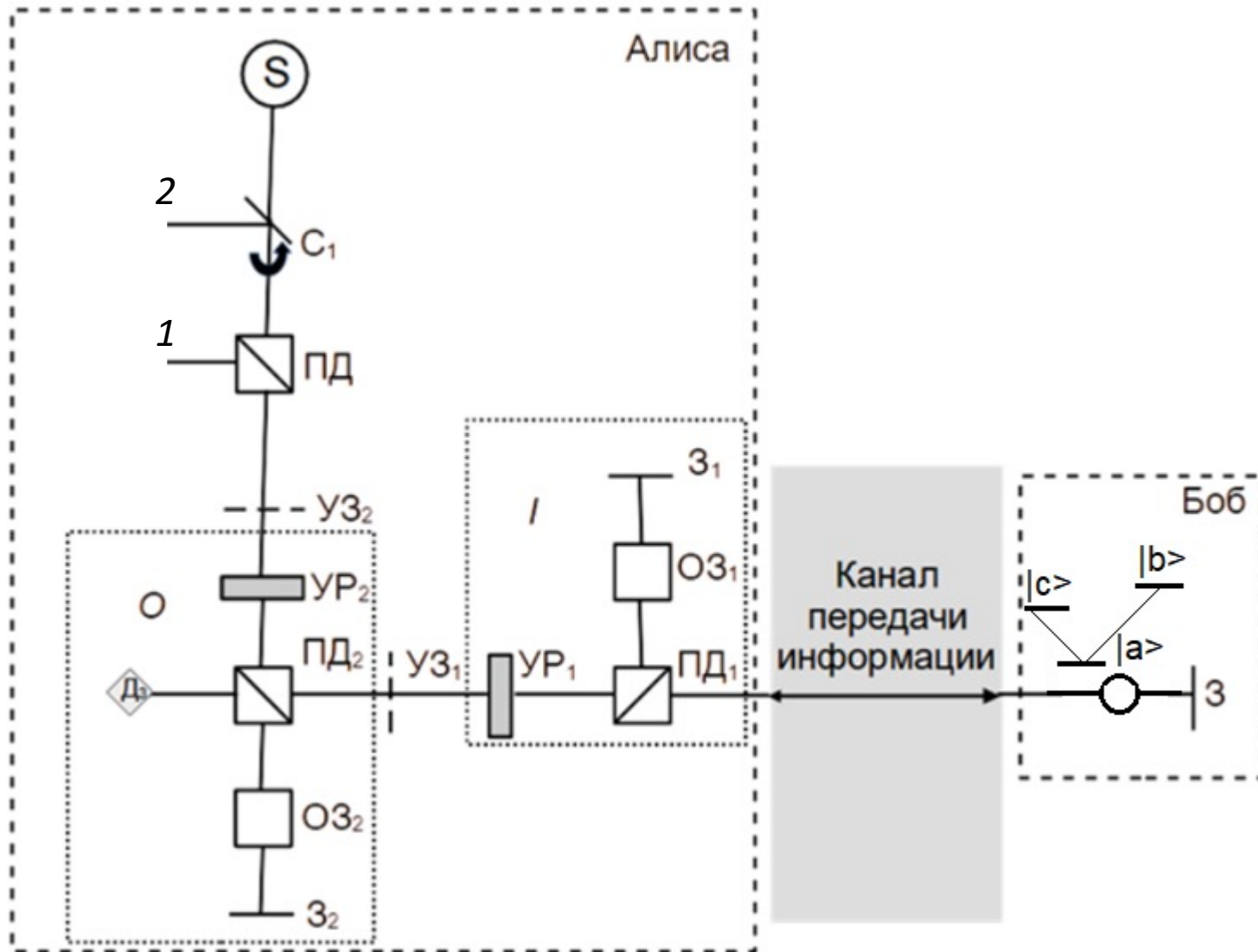
$$P(D_j) = \sum_{i=1}^{d^2} P(H_i)P(D_j|H_i)$$

Квантовый случай:

$$P(D_j) = \sum_{i=1}^{d^2} \left[(d+1)P(H_i) - \frac{1}{d} \right] P(D_j|H_i)$$

Применение контрафактных процедур при квантовых вычислениях

Применение контрафактных процедур при квантовых вычислениях



Заключение

- Нелокальность может наблюдаться для отдельной квантовой частицы.

- Квантовая нелокальность может проявляться как нелокальный перенос информации без обмена энергии, нарушающего энергетическое условие для переноса информации любым локальным полем.

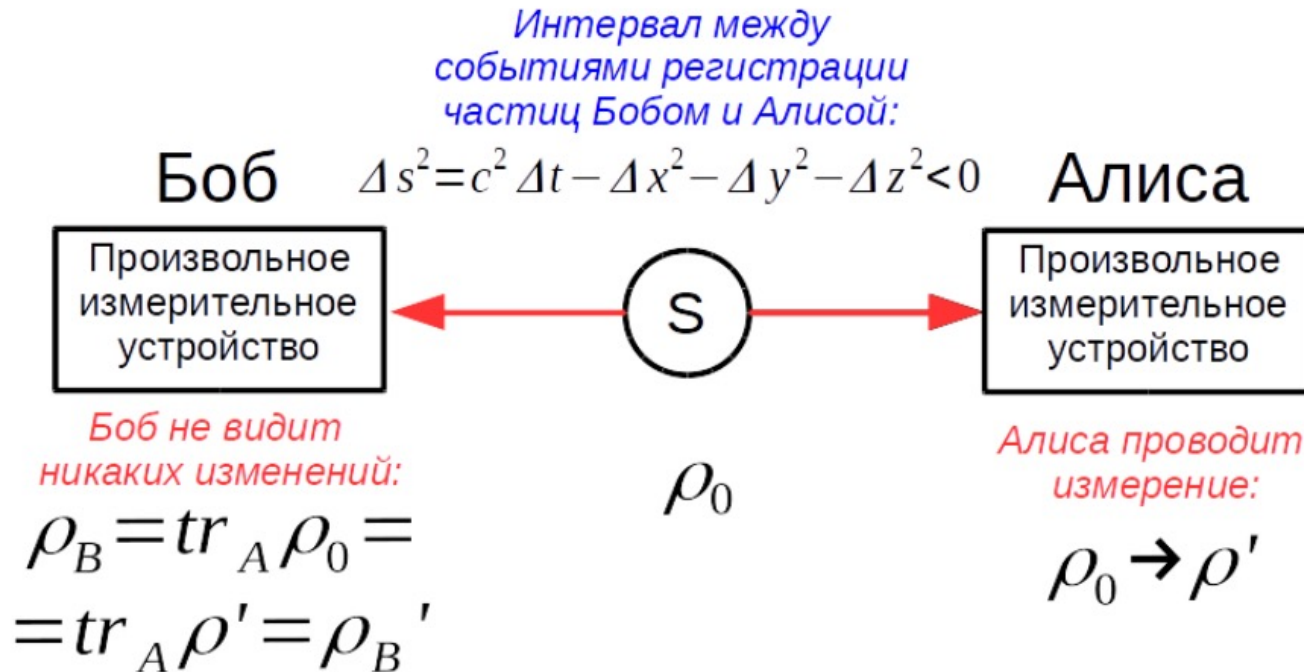
- Квантовую механику можно рассматривать как теорию вероятности с неклассической аксиомой получения полной вероятности. Нелокальность – следствие неклассической аксиомы полной вероятности.

Нелокальность квантовой механики

– Нарушение неравенства Белла

НО!

- Квантовые корреляции невозможно использовать для передачи информации.



- Не очевидно, что квантовые корреляции позволяют нарушить энергетическое ограничение на передачу сообщения в канале связи.