

# Квантовая локальность и правило Борна

***М.Г. Иванов***

(кафедра теоретической физики МФТИ)

[mgi@mi.ras.ru](mailto:mgi@mi.ras.ru)

[ivanov.mg@mipt.ru](mailto:ivanov.mg@mipt.ru)

«Проблема необратимости в классических и квантовых динамических системах» (Москва, МИАН, 9 декабря 2011 г.)

# Квантовая механика:

- **Теория замкнутых систем** (унитарная эволюция) – очень хорошо разработанная фундаментальная теория
- **Теория измерения** (взаимодействия ранее замкнутой системы с окружением) – полуфеноменологическая теория

# Квантовая механика:

- **Теория замкнутых систем**
- **Теория измерения вычисляет**
  - **Вероятности (правило Борна)** – фундаментальная закономерность, лежащая в основе вероятностной интерпретации
  - **Изменение состояния** – феноменология, есть разные модели

# Квантовая механика:

- **Теория замкнутых систем**
- **Теория измерения**
  - **Вероятности (правило Борна)**
  - **Изменение состояния**
    - Неселективное измерение (с неизвестным результатом) – обнуление недиагональных элементов матрицы плотности
    - Селективное измерения (с известным результатом) – например, проекция на одно из собственных подпространств.

# Квантовая механика:

- **Теория замкнутых систем**
- **Теория измерения**
  - **Вероятности (правило Борна)**
  - **Изменение состояния**
    - Неселективное измерение
    - Селективное измерение. Два этапа:
      - Неселективное измерение (обнуляются недиагональные элементы)
      - «Классическое» измерение (обнуляется часть диагональных элементов)

# Квантовая механика:

- **Теория замкнутых систем**
- **Теория измерения**
  - **Вероятности (правило Борна)**
  - **Изменение состояния**
    - Неселективное измерение (обнуляются недиагональные элементы) – например, декогеренция
    - «Классическое» измерение (обнуляется часть диагональных элементов) – **загадка (!)** (само)сознания, эвереттовская интерпретация и т.п.

# Локальность

- **Удалённое измерение сначала всегда неселективно → локально**

$$\hat{\rho}_1 = \text{tr}_2 \hat{\rho}, \quad \rho_1(x_1; x_2) = \int dy \rho(x_1, y; x_2, y)$$

- **Неселективное → селективное после получения классического сигнала → локально**

$$\rho_{\text{после}}(x_1, y_1; x_2, y_2) = \rho(x_1, y_1; x_2, y_2) \cdot \delta_{a(y_1), a(y_2)}$$

# Т. о невозможности клонирования

- Основана на
  - Линейности унитарной эволюции (надёжно)
  - Линейности проекционного постулата (ненадёжно)

$$\hat{K}|\psi_1\rangle|\phi_0\rangle = |\psi_1\rangle|\psi_1\rangle|\phi_1\rangle$$

$$\hat{K}|\psi_2\rangle|\phi_0\rangle = |\psi_2\rangle|\psi_2\rangle|\phi_2\rangle$$

$$\begin{aligned}\hat{K}|\psi_1 + \psi_2\rangle|\phi_0\rangle &= |\psi_1 + \psi_2\rangle|\psi_1 + \psi_2\rangle|\phi_{1+2}\rangle = \\ &= |\psi_1\rangle|\psi_1\rangle|\phi_{1+2}\rangle + |\psi_2\rangle|\psi_2\rangle|\phi_{1+2}\rangle + |\psi_1\rangle|\psi_2\rangle|\phi_{1+2}\rangle + |\psi_2\rangle|\psi_1\rangle|\phi_{1+2}\rangle\end{aligned}$$



# «Клонирующее» устройство и «Квантовая телепатия»

$$|I\rangle = \frac{|\uparrow\rangle|\downarrow\rangle - |\downarrow\rangle|\uparrow\rangle}{\sqrt{2}} = \frac{|\rightarrow\rangle|\leftarrow\rangle - |\leftarrow\rangle|\rightarrow\rangle}{\sqrt{2}}$$

$$|\rightarrow\rangle = \frac{|\downarrow\rangle + |\uparrow\rangle}{\sqrt{2}}, \quad |\leftarrow\rangle = \frac{|\downarrow\rangle - |\uparrow\rangle}{\sqrt{2}}$$

- Алиса проводит 1 из 2 измерений:

измерение  $\updownarrow$ :  $|I\rangle \longrightarrow |\uparrow\rangle|\downarrow\rangle$  или  $|\downarrow\rangle|\uparrow\rangle$ ,

измерение  $\leftrightarrow$ :  $|I\rangle \longrightarrow |\rightarrow\rangle|\leftarrow\rangle$  или  $|\leftarrow\rangle|\rightarrow\rangle$

- Борис клонирует свой кубит и измеряет по разным проекциям, отличая  $\updownarrow$  и  $\leftrightarrow$ .

# Т. о невозможности клонирования (альтернативное доказательство)

- Информация передаётся выбором наблюдаемой
- Локальность → невозможность «квантовой телепатии» →
  - ' → невозможность клонирования
  - ' → неизмеримость волновой функции

# «Жёсткость» правила Борна

$$|\Psi\rangle = \frac{|0\rangle|0\rangle + |1\rangle|1\rangle}{\sqrt{2}}$$

- Алиса измеряет свой кубит «по Борну» ( $p_1=p_2$ ) или «не по Борну»

$$|\Psi\rangle \longrightarrow |0\rangle|0\rangle \text{ или } |1\rangle|1\rangle$$

# Борно-неборновская телепатия

- Информация передаётся выбором борновского или неборновского измерения
- У М.Б. Менского рассматривается «активное сознание» – это не просто интерпретация, а гипотеза

# Неборновское неселективное измерение

$$\hat{\rho} \Rightarrow \hat{\rho}_{nonb.} = \text{tr}_2 \left( \hat{\rho} \cdot \hat{I}_1 \otimes \hat{N}_2 \right),$$

$$\hat{N}_2 = \sum_k \frac{p_{k \text{ nonb.}}}{p_{k \text{ born}}} |\phi_k\rangle \langle \phi_k|,$$

$$\hat{A}|\phi_k\rangle = a_k|\phi_k\rangle.$$

# Квантовая локальность.

## Три кита

- Локальность унитарной эволюции
  - Локальность гамильтониана
- Неселективная локальность
  - Правило Борна.
- «Классическая» локальность
  - Локальность канала передачи сигнала.

# Спасибо за внимание!

**Иванов Михаил Геннадьевич**

к.ф.-м.н., доцент

Кафедра теоретической физики

**Московский физико-технический институт**



**МФТИ**

р.т. (495)408-75-90

м.т. 8(910)482-65-51

e-mail: [mgi@mi.ras.ru](mailto:mgi@mi.ras.ru) , [mgi@phystech.edu](mailto:mgi@phystech.edu) (запасной)

icq: 263-932-570, jabber: [mgi@jabber.ru](jabber:mgi@jabber.ru) (это не e-мэйл!)

<http://theorphys.fizteh.ru/>

skype: [mgiwanow](https://www.skype.com/en/contacts/mgiwanow) (вечером)