



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Круглый стол «*Вторая квантовая революция и
несоизмеримость научных парадигм*»

III Конгресс РОИНФ «После постпозитивизма»

г. Саратов. 8-10 сентября 2022

Вторая квантовая революция и реальность ВОЗМОЖНЫХ миров

Терехович Владислав Эрикович

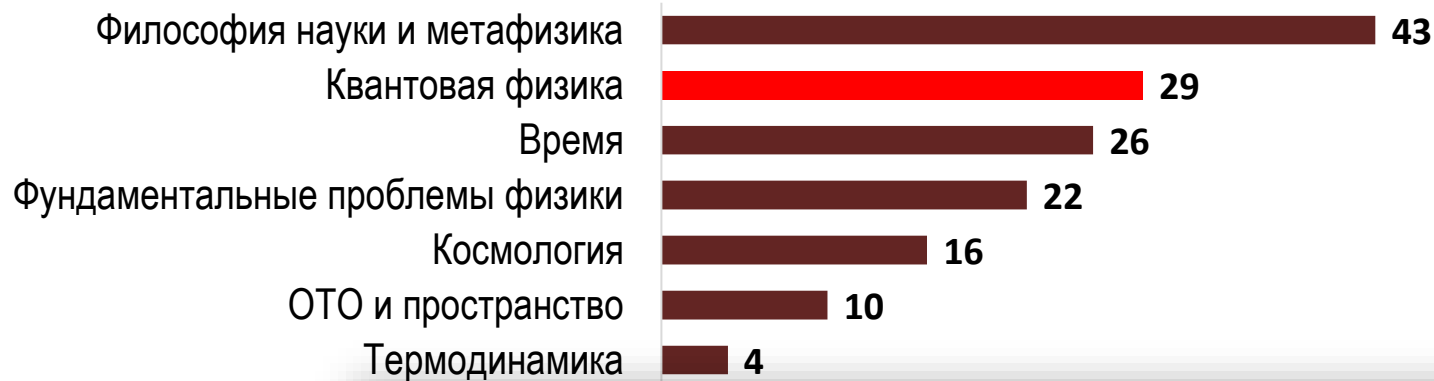
к.ф.н., доцент

Школа философии и культурологии НИУ ВШЭ

Анализ научных мероприятий и публикаций по философским проблемам физики за 2017–2021 гг.

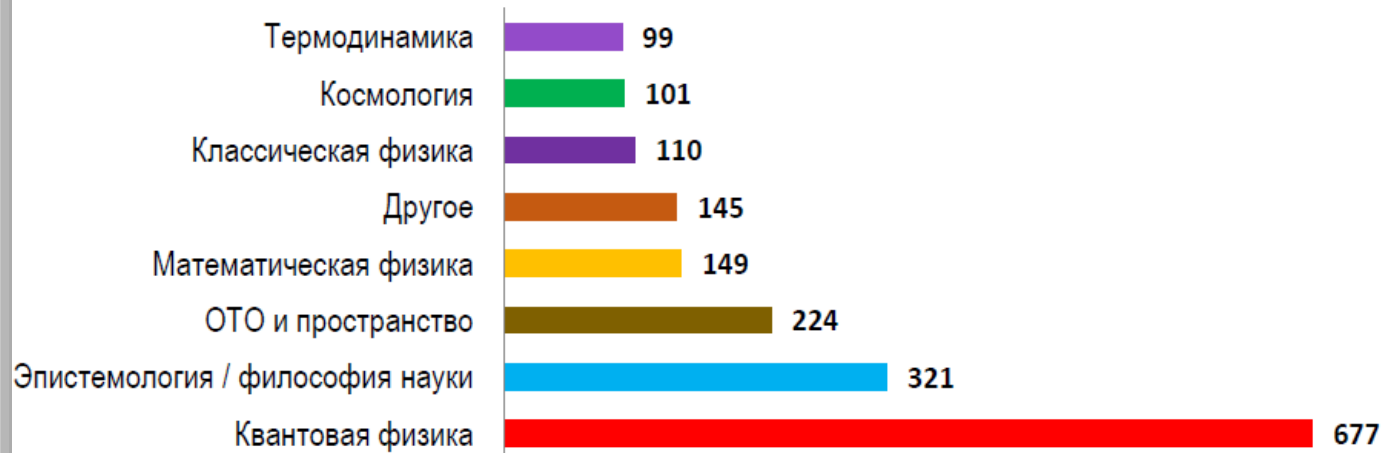
Студенческий исследовательский проект (<https://pf.hse.ru/375130654.html>)

Конференции, семинары...



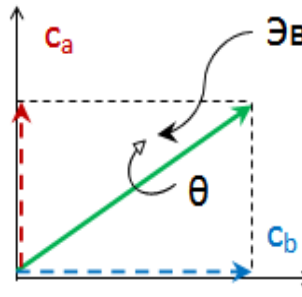
Физика элемен
Класси

Публикации в PhilSci-Archive



Вектор состояния / волновая функция

$|\text{возможность через щель a}\rangle = |\psi_a\rangle$

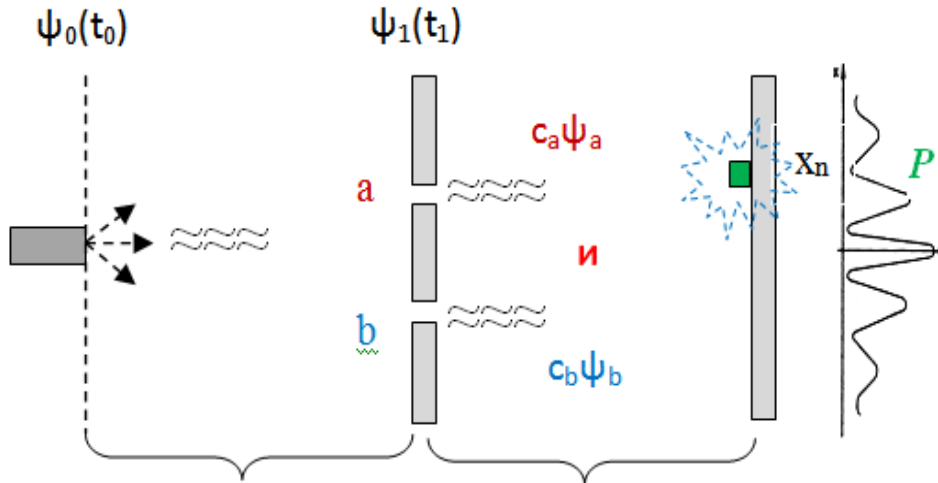
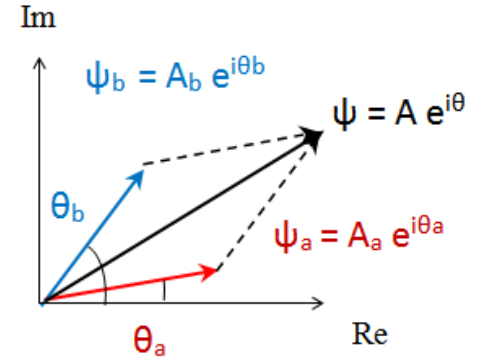


Эволюция волновой функции: $|\psi'\rangle = U|\psi\rangle$, $\psi = A e^{i\theta}$

Суперпозиция возможностей сразу через щели a и b:

$$|\psi\rangle = c_a |\psi_a\rangle + c_b |\psi_b\rangle$$

$|\text{возможность через щель b}\rangle = |\psi_b\rangle$



$$\psi_1(t) = \hat{U}\psi_0(t_0)$$

$$\psi_2(t) = \hat{U}\psi_1(t_1)$$

$$\psi_2 = c_a \psi_a + c_b \psi_b = A_a e^{i\theta_a} + A_b e^{i\theta_b} = 1/\sqrt{2}(\psi_a + \psi_b)$$

$|\psi_a\rangle$ и $|\psi_b\rangle$ – компоненты ВФ
(собственные вектора)

\hat{U} – унитарный оператор эволюции ВФ

A - амплитуда вероятности ВФ

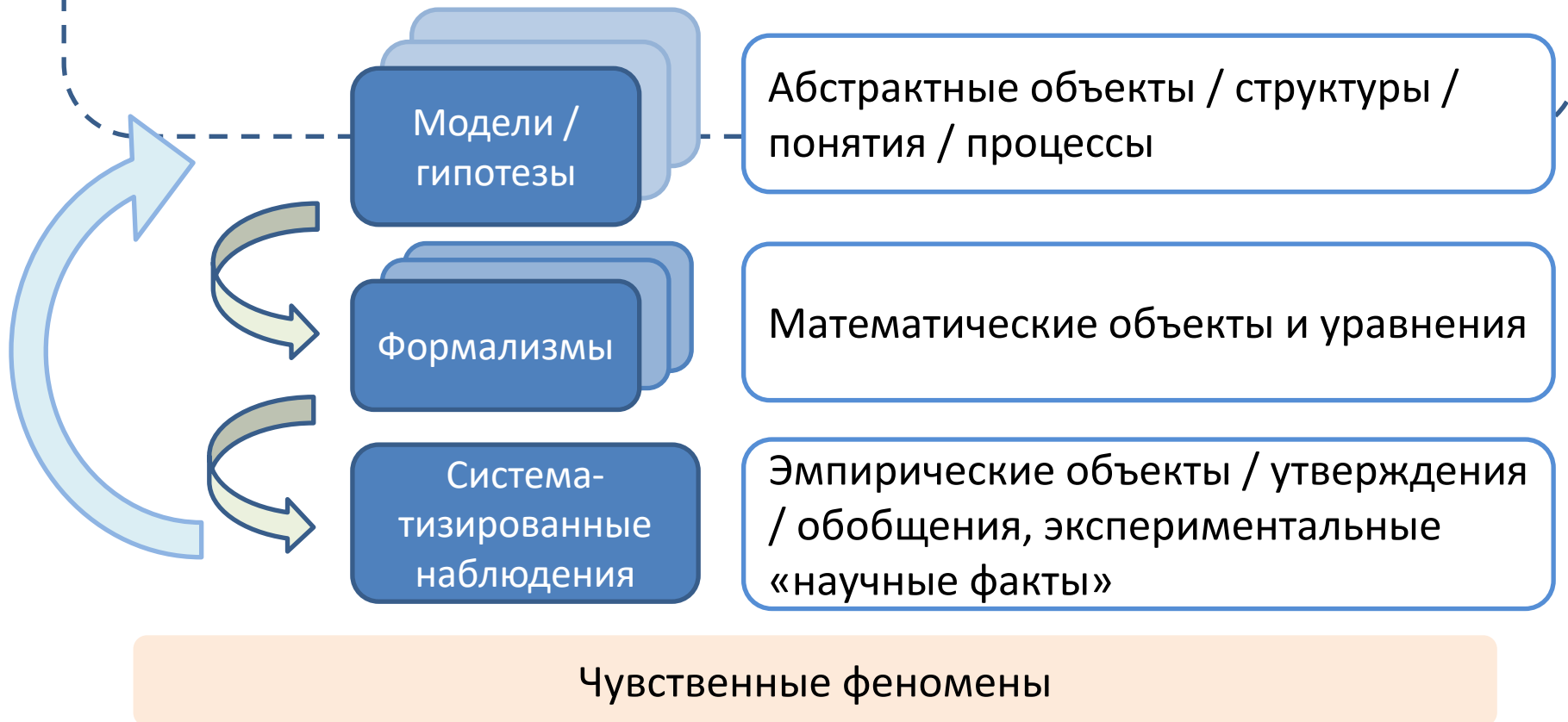
Вероятность регистрации в каждой точке X_n : $P = |\psi_a + \psi_b|^2 = |\psi_a|^2 + |\psi_b|^2 + 2|\psi_a||\psi_b|\cos(\theta_a - \theta_b)$

«этажи» научной теории

Основания парадигмы (картины мира)

Основания фундаментальной теории

Онтология теории (аксиомы, принципы, идеализированные абстрактные объекты / структуры / понятия, язык, логика, представления о реальности, пространстве, времени, причинности...)



Переформулировка онтологического вопроса

СТАРЫЙ ВОПРОС:

Существуют ли квантовые состояния / объекты / структуры до их измерения?

НОВЫЙ ВОПРОС:

Как именно существуют квантовые состояния / объекты / структуры до того, как они начнут вести себя как классические?

Дж. Баб: *«Загадочные черты квантовой механики рассматриваются как ресурс, который нужно развивать, а не проблема, которую нужно решить» (2000)*

2-я квантовая революция

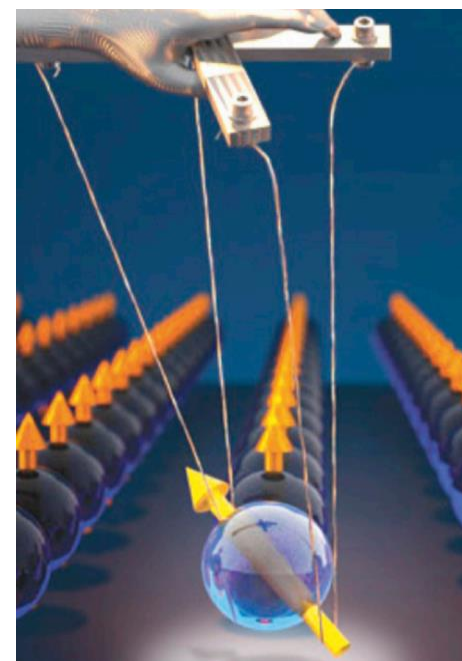
1-я КВАНТОВАЯ РЕВОЛЮЦИЯ:

атомное оружие; атомная энергетика; сверхпроводники; лазеры; полупроводники, компьютеры, интернет, мобильная связь, медицина и т.д.

Quantum Technologies Timeline



- ✓ квантовая связь
- ✓ квантовая криптография
- ✓ квантовый компьютер
- ✓ квантовые симуляторы
- ✓ квантовые часы
- ✓ квантовые датчики и т.д.

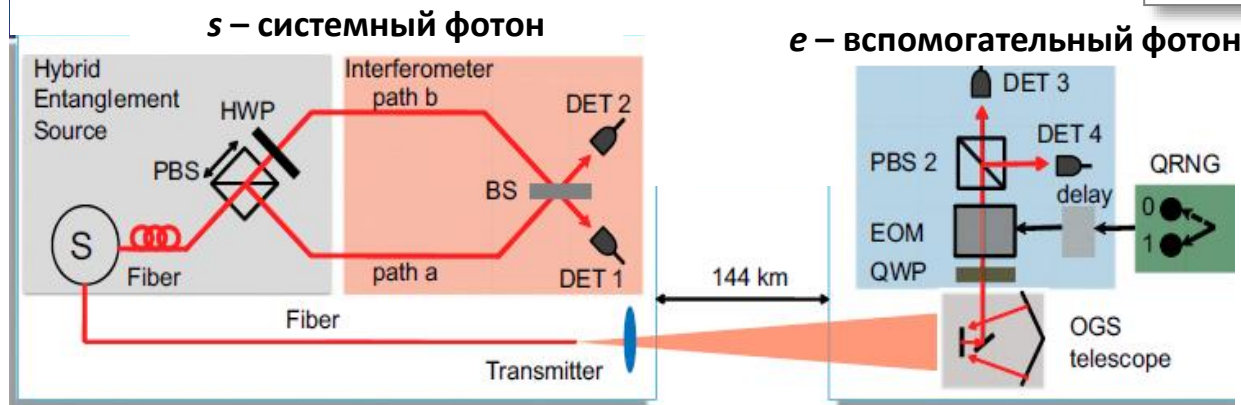


Технологии манипуляции одиночными квантовыми объектами (фотонами, ионами, атомами, ...) в состоянии суперпозиции, а также сложными системами в запутанных состояниях.

Эксперименты с «квантовым ластиком»

Манипуляция ВФ фотонов (s) производится не путем наблюдения, каким путем прошла частица (a или b), а путем «маркировки» информацией этих путей с помощью вспомогательных запутанных фотонов (e).

$$|\Psi_{\text{hybrid}}\rangle_{se} = \frac{1}{\sqrt{2}} (|b\rangle_s |V\rangle_e + |a\rangle_s |H\rangle_e)$$



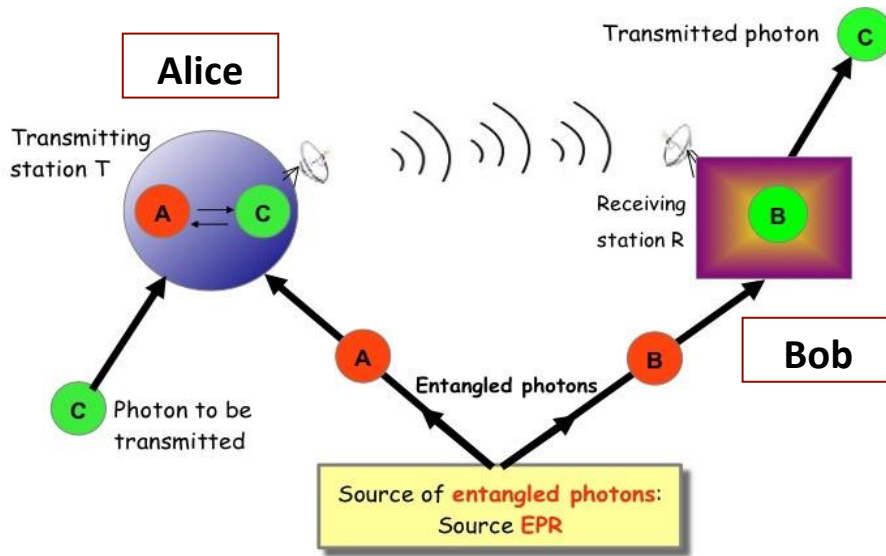
Измеряя или стирая информацию о пути фотона e , мы узнаем информацию о пути фотона s .

Когда основной фотон помечен, интерференционная картина исчезает. Но если информацию о пути стереть, интерференционная картина вновь появится.

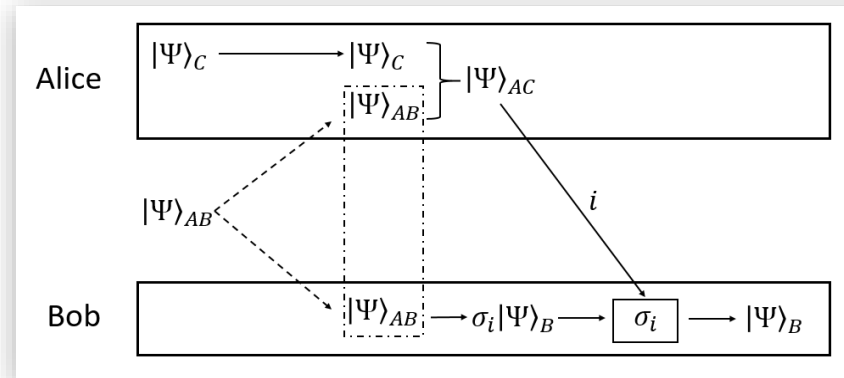
Манипулировать волновой функцией можно даже тогда, когда измерение уже произошло.

Ma X. et al. Quantum erasure with causally disconnected choice // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2013. Vol. 110(4), P. 1221-1226.

Квантовая связь, телепортация и криптография



В результате манипуляции с ВФ одного из запутанных объектов в точке отправления его состояние разрушается и воссоздаётся для второго объекта в точке приёма («квантовая телепортация»).



Квантовые вычисления

Bit
(Classical Computing)

0



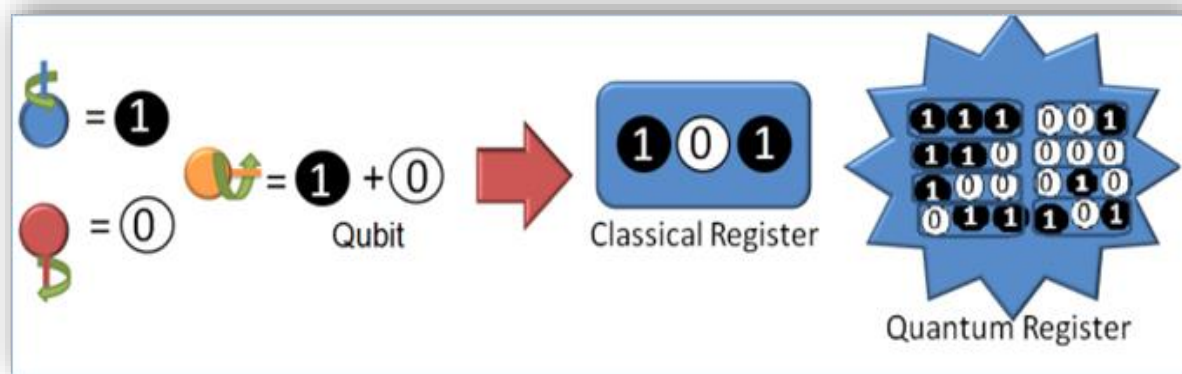
1

Qubit
(Quantum Computing)

0



1



Квантовый регистр для (101): $2^3 = 8$ комбинаций, которые обрабатываются сразу.

Манипулируя запутанными кубитами, можно заставить их производить вычисления.

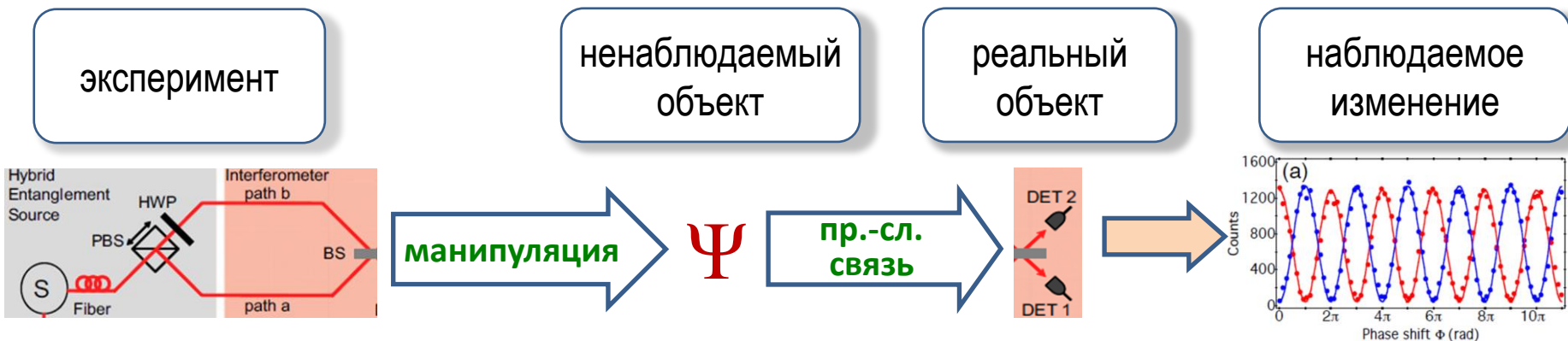
Результаты находятся в суперпозиции. При измерении случайным образом получаем лишь один из них в битах - суперпозиция разрушается. Цикл повторяется.

Манипуляция ВФ запутанных частиц ведет к реальному вычислению

Манипулятивный критерий / критерий причинного влияния

Реальность относится к причинности и наши представления о реальности формируются нашими способностями к изменению мира... Если объект участвует в причинном влиянии, значит, он существует. (Хакинз Я. *Представление и вмешательство*).

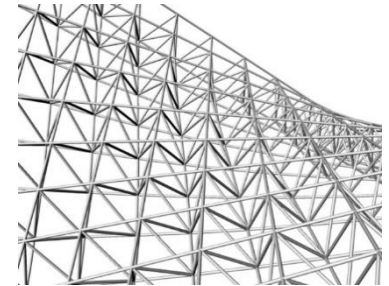
Если манипуляции с ВФ влияют на другие наблюдаемые объекты, то она является причиной, а значит она реальна.



Реализм / антиреализм

«Онтический структурный реализм (ОСР)»:

- ❖ структуры онтологически предшествуют объектам
- ❖ структуры обладают причинными свойствами



Структурный реализм

Реализм по отношению к структурам

Реализм по отношению к теории

Анти-реализм по отношению к объектам

Конструктивный эмпиризм
(Б. Ван Фраассен)

Реализм по отношению к объектам

Анти-реализм по отношению к теории

Экспериментальный реализм (Я. Хакинг)
Сущностный реализм (Н. Картрайт)

Научный реализм

Анти-реализм

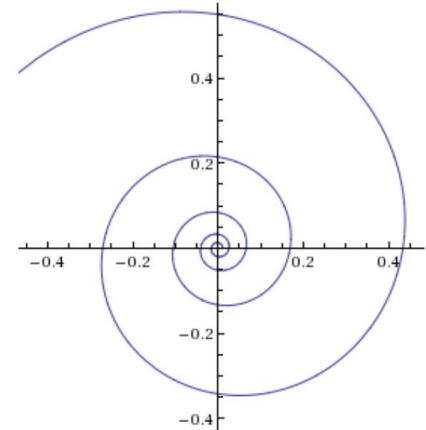
Изоморфизм структур

Закон всемирного тяготения Ньютона

$$|\mathbf{F}| = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

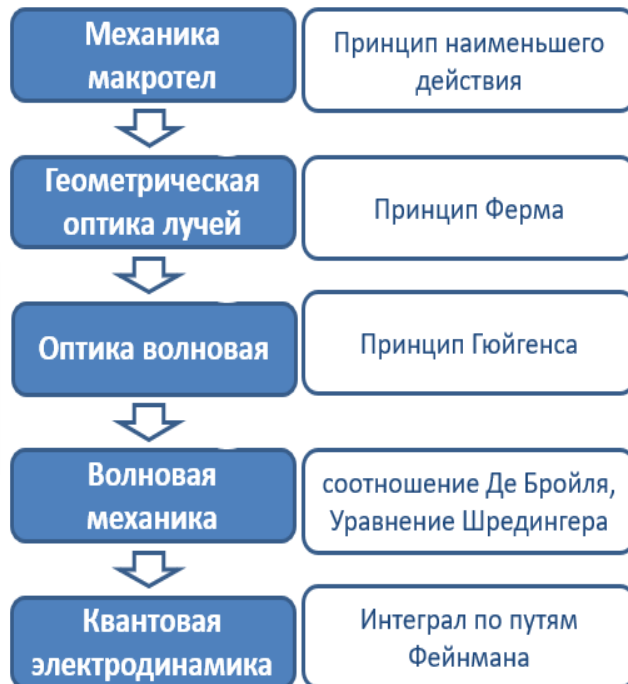
Закон взаимодействия электрических зарядов Кулона

$$|\mathbf{F}| = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$



$$r = ae^{b\theta}$$

Оптико-механическая аналогия



Научная теория и метафизика

НАУЧНАЯ теория

изучает (описывает, предсказывает, «понимает»)
явления

МЕТАФИЗИЧЕСКАЯ концепция

изучает отношения с реальностью,
обоснованность и непротиворечивость
«этажей» научных теорий
(*онтологии теории, моделей, формализмов и
способов наблюдения*)

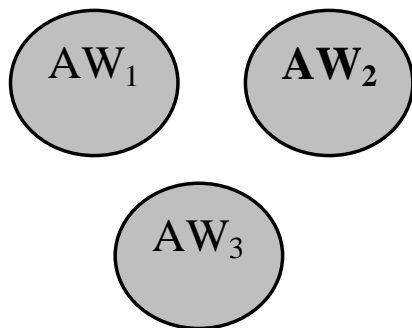
Метафизика возможных и актуальных миров

Модальный реализм: возможные объекты существуют как реальные, но в других мирах. Бесконечное число возможных миров существуют актуально как наш мир

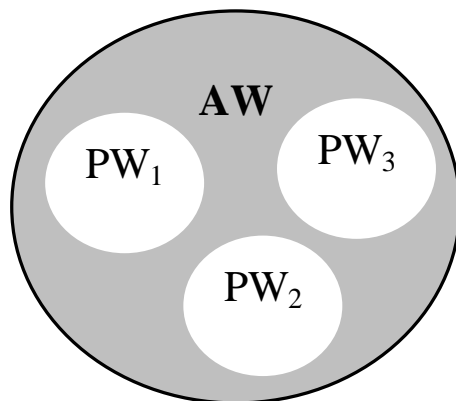
Актуализм: возможности — это фикции, несуществующие сценарии, все что есть (be), то существует актуально

Поссибилизм: возможные объекты есть (be) онтологически в возможных мирах, но не существуют актуально. Некоторые актуализируются в физическом мире.

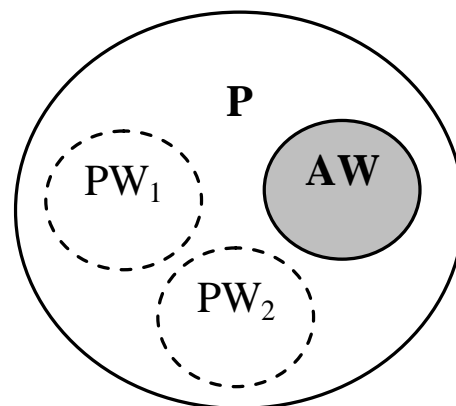
Модальный реализм



Актуализм



Поссибилизм



Тезис-1: потенциальное и актуальное существование

- **Две сферы:** существование в потенциальном модусе бытия и существование в актуальном модусе.

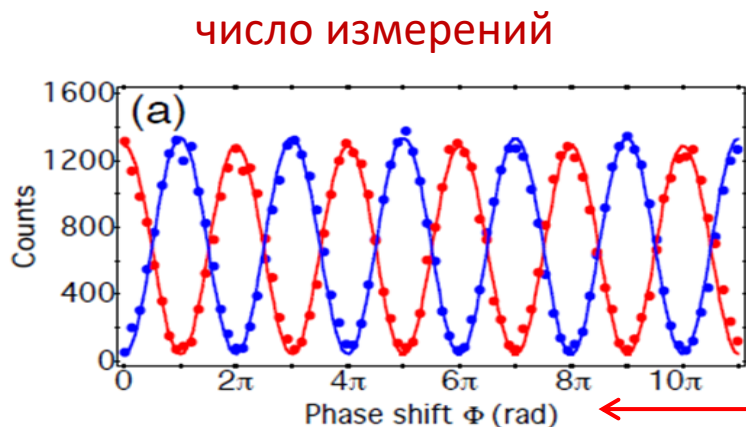
Пример квантовых объектов/структур:

- Между измерениями / взаимодействиями квантовые объекты находятся в потенциальном модусе как совокупность возможных состояний (т.е. как структуры).
- После измерения / взаимодействия (декогеренции с окружающей средой) возможные состояния переходят в актуальное существование.

Тезис-2: три типа структур

- Существование модальной структуры **типа I** (запутанных возможных состояний) \neq существование математической структуры **типа II** (волновой функции).
- **модальные структуры типа I** – предмет изучения модальной метафизики
- **математические структуры типа II** – предмет научной теории
- **структуры типа III** наблюдаемых событий / объектов / отношений – предмет научной теории.

(I) структура возможностей - (II) волновая функция - (III) статистическая структура наблюдений



$$P(ab) = |\psi_a|^2 + |\psi_b|^2 + 2|\psi_a||\psi_b|\cos(\theta_a - \theta_b)$$

← разность фаз →

«Волновая функция ни к какому определенному статистическому коллективу, относиться не может... **Понятие волновой функции относится к потенциально возможному** (к не произведенным еще опытам), тогда как понятие **статистического коллектива относится к осуществившемуся** (к результатам уже произведенных опытов)».

(Фок В.А. Об интерпретации квантовой механики. УФН. 1957. 62(8).)

Тезис-3: объекты \neq сущности

ОБЪЕКТЫ ТЕОРИИ

- ❑ удобные предсказательные или объяснительные модели в рамках конкретной научной теории.
- ❑ не несут онтологических обязательств
- ❑ могут быть привязаны к разным формализмам

СУЩНОСТИ МОДАЛЬНЫЕ

- обладают способностью действовать (\sim диспозиции)
- порождают причинность
- внутреннее стремление реализовать максимальное число своих возможностей в актуальном мире

Тезис 4: метафизическое событие

ФИЗИЧЕСКОЕ СОБЫТИЕ – динамический переход из одного состояния в другое $S_1 \rightarrow S_2$ за небольшой (им можно пренебречь), но **конечный промежуток времени Δt** .

СОБЫТИЕ в СТО – точка $s_i(x, y, z, t)$ в пространстве Минковского.
 Δs – 4-интервал.

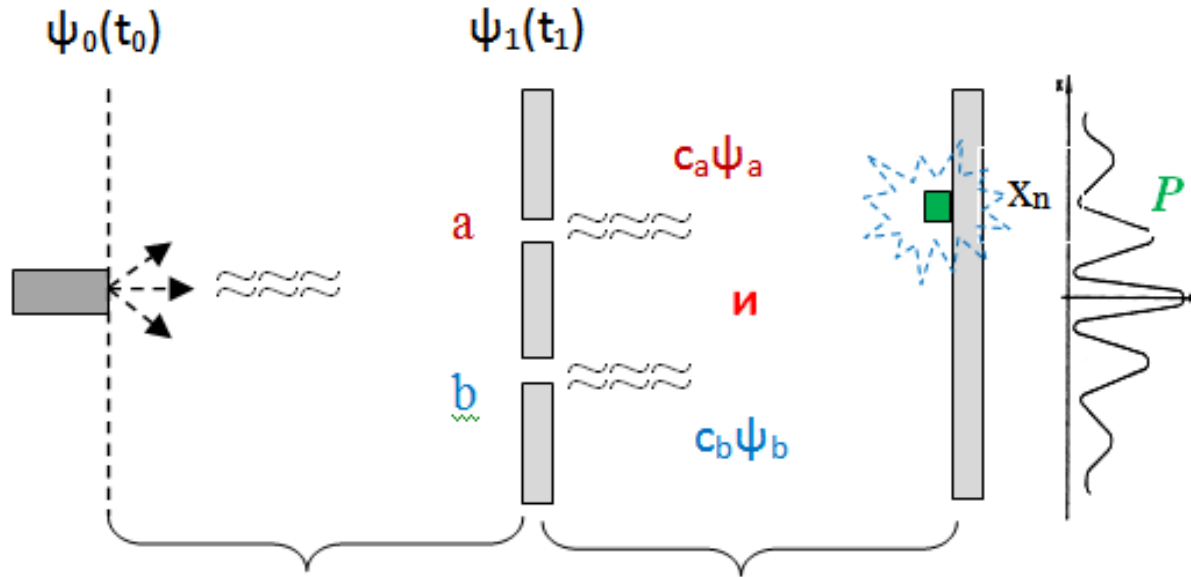
МЕТАФИЗИЧЕСКОЕ СОБЫТИЕ – это переход из потенциального мира в актуальный мир и обратно

- ✓ реализация способности (стремления) сущностей действовать
- ✓ порождает необратимость и «настоящее время»
- ✓ порождает новые возможности (цепочка событий)

Событие-1

Событие-2

Событие-3



Структура наблюдений

«фотон» как объект наблюдения

$$\psi_1(t) = \hat{U}\psi_0(t_0)$$

$$\psi_2(t) = \hat{U}\psi_1(t_1)$$

$$\psi_2 = c_a \psi_a + c_b \psi_b = A_a e^{i\theta a} + A_b e^{i\theta b} = 1/\sqrt{2}(\psi_a + \psi_b)$$

«фотон» как математическая структура

модальные сущности / структуры

Резюме

- ✓ 2-я квантовая революция переформулирует онтологический вопрос квантовой физики
- ✓ Тезис-1 – О двух модальных сферах существования
- ✓ Тезис-2 – Онтический структурный реализм. Три типа структур. Разделение онтологических и математических структур
- ✓ Тезис-3 – Теоретические объекты \neq сущности. Способность действовать – источник причинности
- ✓ Тезис-4 – Метафизическое событие