

# ФИЗИЧЕСКИЕ ПРЕДВИДЕНИЯ АЛЕКСАНДРОВА

А.К. Гуц (г. Сочи)

Воркшоп по геометрическому анализу, посвященный 110-летию  
со дня рождения А. Д. Александрова)  
Институт математики им. С. Л. Соболева СО РАН  
Южный математический институт ВЦ РАН  
Владикавказ – 2022

23 ноября 2022 года

## Ну, я всё-таки физик!

Александров Александр Данилович – великий геометр XX века.

**Образование:** физик, закончил физфак Ленинградского университета (1928-1933)

**Научный руководитель:** В.А. Фок – выдающийся советский физик. Первым выписал уравнение Дирака в псевдоримановом пространстве, независимо от Клейна уравнение скалярного поля в гравитационном поле (уравнение Клейна-Фока), вывел уравнения движения тела из уравнений Эйнштейна и пр.

**Второй(?) научный руководитель:** Б.Н.Делоне - замечательный математик, ученик Чебышева

**Первое место работы:** Государственный оптический институт (1930-1932); Физический институт ЛГУ (1932-1936).

# И всё-таки я физик

## Первые публикации:

1. О вычислении энергии двухвалентного атома по методу Фока // Журн. эксперим. и теорет. физики. 1934. Т. 4, вып. 4. С. 326–341.
2. **Замечание о правилах коммутации и уравнении Шрёдингера // Докл. АН СССР. 1934. Т. 4, № 4. С.198–200.**
3. Рассеяние света в бесконечном плоском слое // Тр. Оптич. ин-та. 1936. Т. 11, вып. 99. С. 56–71. (совм. с Н.Г.Болдыревым).
4. Ошибки колориметрических измерений и метрика цветового пространства // Журн. эксперим. и теорет. физики. 1937. Т. 7, вып. 6. С. 785–791.

## 1934. КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА

Вторая статья – то выдающееся открытие, которое недооценивается до сей поры. В ней было показано, что основные соотношения квантовой механики – коммутационные соотношения и уравнение Шрёдингера можно вывести практически из ньютоновской физики за счет небольшой переформулировки классических постулатов.

И это через год после окончания университета! Кстати, статью в «Доклады» представил академик С.И. Вавилов – выдающийся советский физик, открывший в это время эффект Вавилова-Черенкова, за что Черенкову в 1958 году, уже после смерти Вавилова, была присуждена Нобелевская премия.

## 1934. Аксиомы квантовой механики

**Аксиома КМ<sub>1</sub>.** Физическое состояние тела описывается некоторой величиной  $\psi$ , которая принимает комплексные значения, меняющиеся при переходе от одной точки (события) в пространстве-времени к другой. Иначе говоря, полагаем, что

$$\psi = \psi(\vec{r}, t), \quad \vec{r} = (x, y, z).$$

Каждое тела характеризуется средними значениями координат  $\langle \vec{r} \rangle = (\langle x \rangle, \langle y \rangle, \langle z \rangle)$  местонахождения тела:

$$\langle \vec{r} \rangle = \int \bar{\psi}(\vec{r}, t) \vec{r} \psi(\vec{r}, t) d\vec{r},$$

## 1934. Аксиомы квантовой механики

**Аксиома КМ<sub>2</sub>.** Пусть тело находится в потенциальном поле  $U(\vec{r}, t)$ . Примем, как постулат, следующее уравнение движения тела с массой  $m$  в поле  $U$ :

$$m \frac{d^2}{dt^2} \langle \vec{r} \rangle = \int \bar{\psi}(\vec{r}, t) (\nabla U) \psi(\vec{r}, t) d\vec{r}. \quad (1)$$

Для того чтобы описывать физические состояния тела, нам теперь требуется уравнения движения для функции  $\psi(x, y, x, t)$ , которую будем называть *волновой функцией* или  *$\psi$ -функцией*.

Определим оператор импульса  $\hat{p}$  с помощью уравнения

$$m \frac{\partial}{\partial t} \int \bar{\psi} x \psi d\tau = \int \bar{\psi} \hat{p} \psi d\tau.$$

## Аксиомы квантовой механики

**Теорема 1.** (А.Д. Александров, 1934) *Существует действительное число  $\hbar$  такое, что справедливо равенство*

$$\hat{p}x - x\hat{p} = -i\hbar. \quad (2)$$

**Теорема 2.** (А.Д. Александров, 1934). *Волновая функция удовлетворяет уравнению движения*

$$i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} = \left( \frac{1}{2m} \hat{p}^2 + U \right) \psi, \quad (3)$$

*называемого уравнением Шрёдингера.*

ВСЯ СУТЬ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ!  
ПРОСТО! ИЗЯЩНО! СТИЛЬ АЛЕКСАНДРОВА!

## Делоне

Математик Делоне вел в 1932-33 г. семинарию по геометрической кристаллографии, которую посещал А.Д.

Материалы семинарии были обработаны и изданы.

### **Александров стал соавтором книги:**

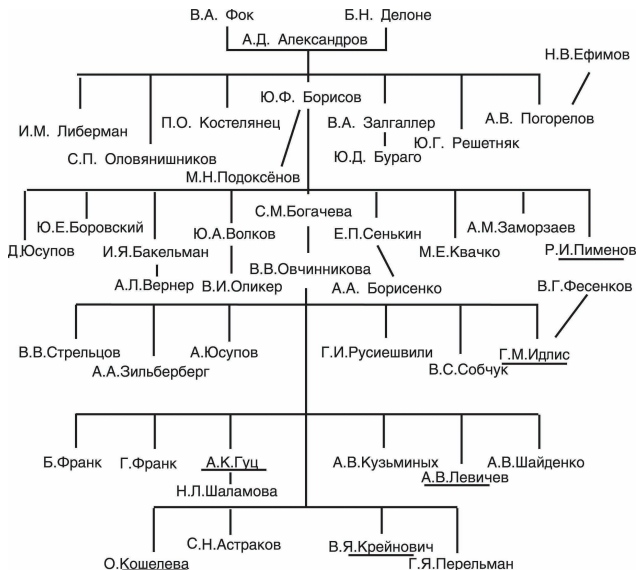
Делоне Б., Падуров Н., Александров А. Математические основы структурного анализа кристаллов и определение основного параллелепипеда повторяемости при помощи рентгеновских лучей. - М.-Л.: Гостехиздат, 1934. - 328 с.

Александров написал первую главу "Теория симметрии кристаллического вещества".

Глава геометрическая. Как результат, Александров покинет физику на 12 лет и уйдет в геометрию!



# УЧЕНИКИ



# ОБЛАСТИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1930-е - 1940-е

Квантовая  
механика

Многогранники  
Выпуклые тела

1940-е - 1950-е

Квантовая механика  
Теория  
относительности

Внутренняя  
геометрия выпуклых  
поверхностей

Теория меры

Теория абсолютного  
пространства-  
времени

Двумерные  
многообразия  
ограниченной кривизны

Дифференциальные  
уравнения

Пространства  
Александрова

# ОБЛАСТИ ИССЛЕДОВАНИЙ

1960-е - 1970-е

Хроногеометрия

Дифференциальные  
уравнения

1980-е

Учебники по геометрии

# ПРЕДВИДЕНИЯ

1. **1934.** Макроскопическая квантовая механика

2. **1950, 1953.** Теорема Александрова-Овчинниковой  
Теорема Зимана (1964)

3. **1952.** Несиловая квантовая связь.

Нобелевская премия (2022). Аспект, Клаузер и Цайлингер - эксперименты 1982 года.

4. **1959.** Абсолютное движение. Пространство может быть только заполненным (излучением)

Реликтовое излучение. Нобелевская премия (1978). Пензиас и Уотсон - фиксация излучения в 1965 году.

5. **1959.** Нет материи - нет пространства..

Нет запутанности на абстрактной границе - нет пространства (Ван Раамсдонк, 2010)

# НЕСИЛОВАЯ КВАНТОВАЯ СВЯЗЬ.

## Квантовое состояние. Кот Шрёдингера

Состояние 1-разрядного регистра квантового компьютера в момент времени  $t$  подобно одновременному пребыванию кота в живом и мёртвом состоянии:

$$|\text{кот жив и мёртв}\rangle = \alpha |\text{кот жив}\rangle + \beta |\text{кот мёртв}\rangle$$

Иначе говоря, в квантовом мире альтернативы могут существовать одновременно.

Впрочем, можно предположить, что квантовый кот находится сразу в двух параллельных вселенных. В одной вселенной кот жив, а в другой – мёртв. Наблюдатель видит только того кота, в какой вселенной живет сам; параллельный, другой мир он не видит. Такой подход называется *эвереттовской интерпретацией квантовой механики*.

# Квантовая сцепленность (запутанность)

Состояние

$$\sum_{n_{m-1}=0}^1 \sum_{n_{m-2}=0}^1 \dots \sum_{n_0=0}^1 c_{n_{m-1}n_{m-2}\dots n_0} |n_{m-1}\rangle \otimes |n_{m-2}\rangle \otimes \dots \otimes |n_0\rangle \quad (4)$$

квантового регистра называется *сцепленным*, если оно **не может** быть представлено в виде

$$|x_1\rangle \otimes \dots \otimes |x_m\rangle, \quad (5)$$

где  $|x_j\rangle = \alpha_j|0\rangle + \beta_j|1\rangle$  ( $j = 1, \dots, m$ ).

На языке волновых функций, описывающих систему, состоящую, к примеру, из двух подсистем  $x$  и  $y$ , сцепленность (запутанность) подсистем означает, что

$$\psi(x, y) \neq \phi(x)\phi(y).$$

## 1980. Пример сцепленности Александрова

А.В.Левичев на семинаре "Хроногеометрия" в 1980 году сообщает об экспериментах Аспека, подтверждающих сцепленность. А.Д. комментирует, что он об этом говорил в 1952 году и для присутствующих поясняет, что такое несиловая квантовая связь следующим образом.

Запишем сцепленное состояние объекта «брак» формулами. Надо всего лишь учесть альтернативу в случае гибели мужа:

$$\text{Брак} = |\text{жив}\rangle_{\text{м}}|\text{замужняя}\rangle_{\text{ж}} + |\text{мёртв}\rangle_{\text{м}}|\text{вдова}\rangle_{\text{ж}},$$

где буквы «м» и «ж» метят состояния мужчины и женщины соответственно.

В сборнике АН СССР "Эйнштейн и современная физика" от 1956 г., посвященного памяти Эйнштейна, В.А.Фок приводит этот пример, описывая "настроение начальника" с заменой мужа на "подчиненного" и жены на состояние начальника со ссылкой на А.Д. ЭТО КВАНТОВАЯ СОЦИОЛОГИЯ!

# МАШИНА ВРЕМЕНИ

Машина времени Гёделя – это временные петли в лоренцевом многообразии.

**ПРОБЛЕМА АЛЕКСАНДРОВА (1969).** Каковы те физические условия в области пространства-времени с топологией  $R^4$ , содержащей временную петлю?

Это была тема курсовой работы. Известные Пенроз и Хоукинг в 1969 году считали, что это критические для человека условия, но получение соответствующей оценки является крайне трудной задачей.

Решение было найдено в 1972 году. Из полученной оценки стало видно, что временные петли действительно существуют либо в крайне экстремальных физических условиях, либо имеют размеры галактического масштаба. Ни с чем подобным человечество в своей жизни не встречалось.



Пусть временная петля  $L$  является аналитической жордановой и лежит на односвязной поверхности  $F \subset D$ , причем  $L = \partial F$ , и  $F$  расположена в пространстве, заполненном пылевидной материей с плотностью  $\rho$ . Тогда для хронометрически инвариантного по Зельманову времени  $\tau(L)$ , требуемого для обхода по  $L$ , имеем

$$\tau(L) \sim \frac{\sqrt{8\pi G\rho}}{c^2} \sigma(F), \quad \sigma(F) = \iint_F dS \quad (6)$$

Из (6) вытекает, что если допустить "евклидово" соотношение  $\sigma(F) \sim \pi^{-1}[I(L)]^2$ , где

$$I(L) = \oint_L \sum_{\alpha, \beta=1}^3 \sqrt{\left(-g_{\alpha\beta} + \frac{g_{0\alpha}g_{0\beta}}{g_{00}}\right)} dx^\alpha dx^\beta$$

– пространственная длина петли  $L$  и  $\sigma(F)$  – "евклидова" площадь поверхности  $F$ , то

$$\tau(L) \sim 2 \cdot 10^{-24} \sqrt{\rho} \cdot [I(L)]^2 \text{ (сек.)}$$

# КВАНТОВАЯ МАШИНА ВРЕМЕНИ

Но... парадокс дедушки, неразрешимый с точки зрения логики, двузначной логики, препятствует логичной конструкции машины времени и заставляет нас обратиться к изложению общей теории относительности (ОТО) в рамках *иной логики*.

Известно, что квантовая механика управляется неклассической квантовой логикой: там есть слово "вероятно".

Следовательно надо перейти к модальным логикам. Но последние ведут к *многомировым интерпретациям*.

Физик Эверетт при общении с журналистами употребил слова "параллельные вселенные" логик Крипке – "миры Лейбница".

Александров предвидел это, заявляя, что пространство-время в ОТО *не совсем абсолютно*, т.е. допускает вариации.

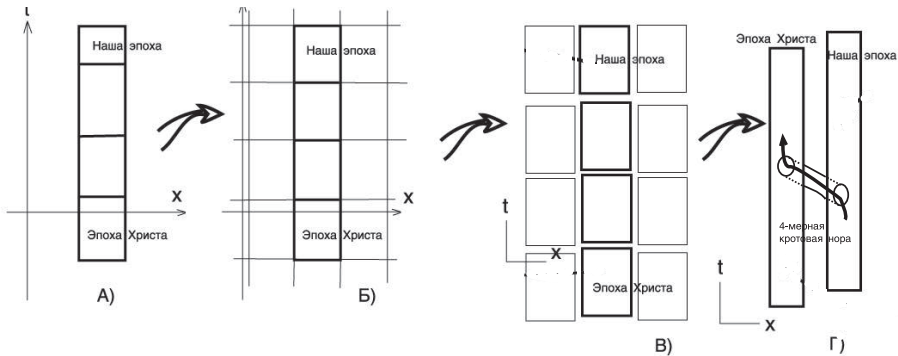
**Машина времени должна быть квантовой!**

# КВАНТОВАЯ МАШИНА ВРЕМЕНИ

1. Мы должны разорвать пространство-время (меняя его топологию) на исторические эпохи. Затем вводя новую топологию поставить нужную прошлую эпоху  $\Pi$  «рядом» с нашей  $H$ , т.е. сделать *параллельным* пространством-временем, *параллельной вселенной*.  
Прошлая эпоха становится *параллельной эпохой*.
2. Соединить нашу эпоху  $H$  с параллельной эпохой  $\Pi$  посредством кротовой 4-норы.

**Заметим, что мы по-прежнему находимся в рамках теории абсолютного Мира событий.** Из нее можно, однако, выйти... используя, например, квантовую космологию Уилера-ДеВитта (ниже).

На картинке это выглядит так, как показано на следующем слайде.



А) Наша эпоха и эпоха Христа в пространстве-времени  $(t, x, y, z)$ ; Б) преобразование пространства-времени, разбивающего его на равные параллелепипеды; В) топологический разрыв пространства-времени на несвязные эпохи; Г) преобразование пространства-времени, в котором Наша эпоха и эпоха Христа «рядом и **параллельны** во времени» и соединяются 4-мерной кротовой норой.

# КВАНТОВАЯ КОСМОЛОГИЯ УИЛERA

Мир существует в форме исторических эпох (параллельных вселенных).

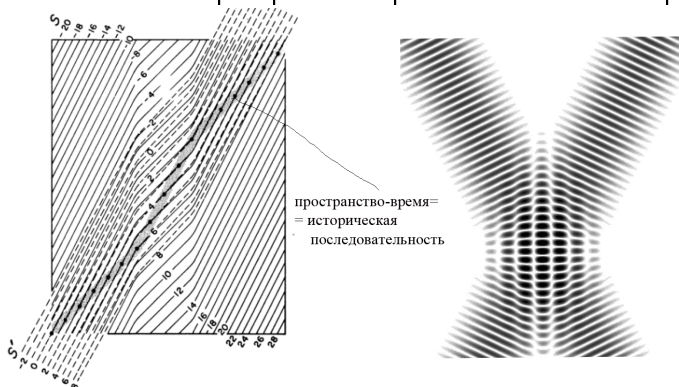
Каждая историческая эпоха – это  $\Psi$ -волна амплитуды вероятности 3-геометрий  ${}^{(3)}\mathcal{G}$  в суперпространстве Уилера всех 3-мерных геометрий.

Пространство-время Вселенной  $M^4$  в квантовой космологии Уилера-ДеВитта появляется как интерференция когерентной квантовой суперпозиции, или волнового пакета:

$$\Psi[{}^{(4)}\mathcal{G}] = \int_K c_k \Psi_k[{}^{(3)}\mathcal{G}] d\mu(k), \quad c_i \in \mathbb{C},$$

где  $\Psi_k[{}^{(3)}\mathcal{G}]$  – частная волновая функция, являющаяся функционалом от 3-мерной римановой геометрии  ${}^{(3)}\mathcal{G} = (M^3, h_{\alpha\beta})$  и удовлетворяющая функциональному уравнению Уилера-ДеВитта.

Интерференция дает цепи «горных пиков» – исторические последовательности = пространства-времена с линейным временем  $t$ .



Пространство-время – это цепь горных пиков (черные точки на рис. слева), образовавшихся при интерференции двух исторических эпох с  $\Psi$ -волнами  $\Psi_k [^{(3)}\mathcal{G}]$  и  $\Psi_{k'} [^{(3)}\mathcal{G}]$ .

Таким образом, имеем систему  $\Omega$ , т.е. Вселенную, которая может находиться в состояниях  $\Omega_k$ ,  $k \in K$  с амплитудой вероятности  $\Psi_k[(^{(3)}\mathcal{G})]$ . Каждая историческая эпоха – это состояние  $\Omega_k$ .

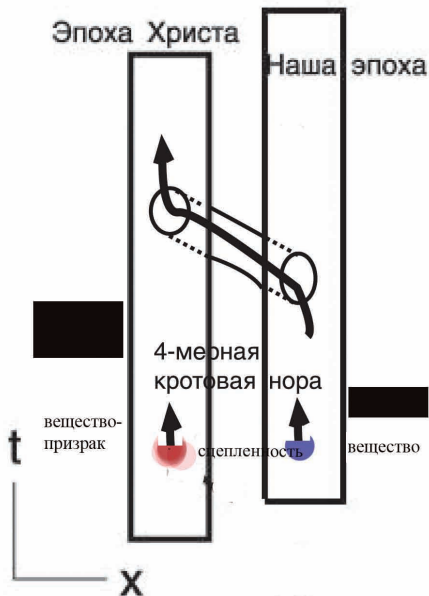
**Историческая эпоха – это волна стационарности, волна неизменности в абстрактном бесконечномерном историческом пространстве, имеющая вид**

$$\begin{aligned} \Psi(\Omega_k) &\equiv \Psi_\alpha(^{(3)}\mathcal{G}, \mu, B, e, \sigma, \nu) = \\ &= A_k \left( \begin{array}{l} \text{медленно меняющаяся} \\ \text{амплитудная функция} \end{array} \right) e^{-\frac{i}{\hbar} S_k(^{(3)}\mathcal{G}, \mu, B, e, \sigma, \nu)}. \end{aligned}$$

Историческая эпоха – это «замороженное» бытие людей, *гештальт* Гёте. Изменения в жизни отсутствуют в каждой конкретной исторической эпохе на протяжении всего времени её существования, точнее, всей длительности эпохи.

Историческая эпоха – это «настоящее», имеющее длительность.

Квантовая машина времени есть локальное сцепление двух состояний  $\Omega_k$  и  $\Omega_{k'}$ .



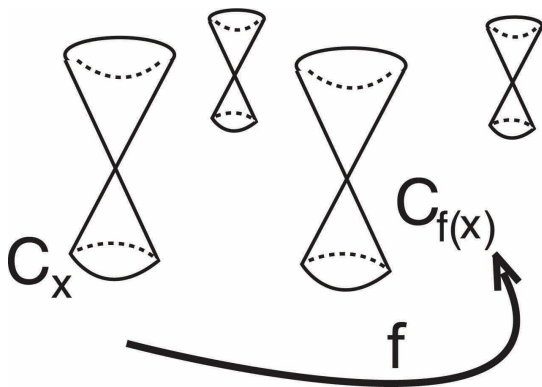


Вещество-призрак – это тeneвое вещество Дойча, т.е. состоит из частиц параллельной вселенной и которое в нашей Вселенной имеет нулевой тензор энергии-импульса. Но оно может иметь квантовую связь (сцепленность) с нашим веществом.

Такая машина времени является вероятностной – вместо визита к Пушкину можно попасть в Парк юрского периода.

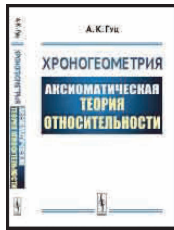
# ХРОНОГЕОМЕТРИЯ

В 1950-м году В.А. Фок попросил А.Д. установить самые простые условия для получения преобразований Лоренца из закона постоянства скорости света во всех инерциальных системах отсчета. Это ядро, суть СТО. А.Д. сделал.



**Теорема Александрова-Овчинниковой (1953).** Если  $f : A^4 \rightarrow A^4$  - биективное отображение,  $\{C_x\}_{x \in A^4}$  - семейство поверхностных двойных (одинарных) круговых конусов, и  $f(C_x) = C_{f(x)}$  для любой  $x \in A^4$ , то  $f$  есть преобразование Лоренца.

Доказательство - образец геометрической простоты и изящества.



Хроногеометрия выясняет из каких начал вытекает структура пространства-времени. А.Д. поставил на "причинность". Было доказано множество теорем (Александров, Пименов, Борисов, Гуц, Кузьминых, Шайденко, Левичев, Астраков, Крейнович, Кошелева, Копылов, Ионин, Шаламова и др.)

Над нами вечной радостью и властью  
Пространство несказанной синевы,  
И солнце яркими лучами счастья  
Ласкает, обжигает и слепит.

А.Д. Александров. (1972)

## Непрописанное...

1. Александров, КПСС и ученики-коммунисты (Залгаллер, Стрельцов, Гуц)
2. Как вести себя с обкомовцами (советы по телефону)
3. А я уже подписал приказ...
4. Звонил бывший ректор! Спрашивал как защитилась....!!
4. Кутателадзе, молодец, столько сделал для издания книги...

Спасибо за внимание!