



# One-Way Quantum Computations and Acausality principle

Michael Popov

OMCAN Mathematical Institute University of Oxford

## Quantum Physics

[Submitted on 13 Jan 2003 (v1), last revised 14 Jan 2003 (this version, v2)]

## Measurement-based quantum computation with cluster states

R. Raussendorf, D.E. Browne, H.J. Briegel

We give a detailed account of the one-way quantum computer, a scheme of quantum computation that consists entirely of one-qubit measurements on a particular class of entangled states, the cluster states. We prove its universality, describe why its underlying computational model is different from the network model of quantum computation and relate quantum algorithms to mathematical graphs. Further we investigate the scaling of required resources and give a number of examples for circuits of practical interest such as the circuit for quantum Fourier transformation and for the quantum adder. Finally, we describe computation with clusters of finite size.

Comments: 37 pages, 27 figures, V2: author lost and found again

Subjects: **Quantum Physics (quant-ph)**

Cite as: arXiv:quant-ph/0301052

### Access Paper:

- [View PDF](#)
- [TeX Source](#)
- [Other Formats](#)

[view license](#)

Current browse context:

**quant-ph**

[< prev](#) | [next >](#)

[new](#) | [recent](#) | [0301](#)

### References & Citations

- [INSPIRE HEP](#)
- [NASA ADS](#)
- [Google Scholar](#)
- [Semantic Scholar](#)

[6 blog links](#) (what is this?)

[Export BibTeX Citation](#)

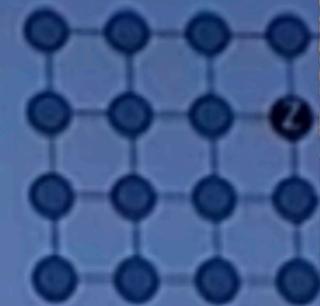
Дефиниции 1WQC, математическое определение acausality

Различие между первой (2001) и второй статей (2003) Рауссендорфа и Брейгеля, общая перспектива и состояние .

# Основные идеи однонаправленных квантовых вычислений

В терминах оригинальной математики Рауссендорфа основу 1QQC составляет не стандартная последовательность унитарных квантовых логических гейтов, но кластерные состояния запутанных кубитов. Кластерное состояние определяется как *eigenstate* операторов стабилизатора, а сами кластерные состояния создаются как продукты унитарной эволюции Гамильтониана Изинга

er states are universal



tion: A cluster state  $|\phi\rangle_{\mathcal{C}}$  on a cluster  $\mathcal{C}$  is the  
on eigenstate of the stabilizer operators  $\{K_a\}$ .

$$K_a |\phi\rangle_{\mathcal{C}} = |\phi\rangle_{\mathcal{C}}, \quad \forall a \in \mathcal{C},$$

$$K_a = X_a \bigotimes_{b \in N(a)} Z_b, \quad \forall a \in \mathcal{C}.$$

$n, b \in N(a)$  if  $a, b$  are spatial next neighbors in  $\mathcal{C}$ .

ster states can be created from a product state via uni  
lution under the Ising Hamiltonian.

Схема 1WQC  
 Рауссендорфа -  
 Брейгеля ( ArXiv qu-ph  
 0301052v2, 14 Jan 2003)

Сомнения относительно возможности  
 1WQC стать основой универсального  
 квантового компьютера . Идея гибридных  
 квантовых вычислений

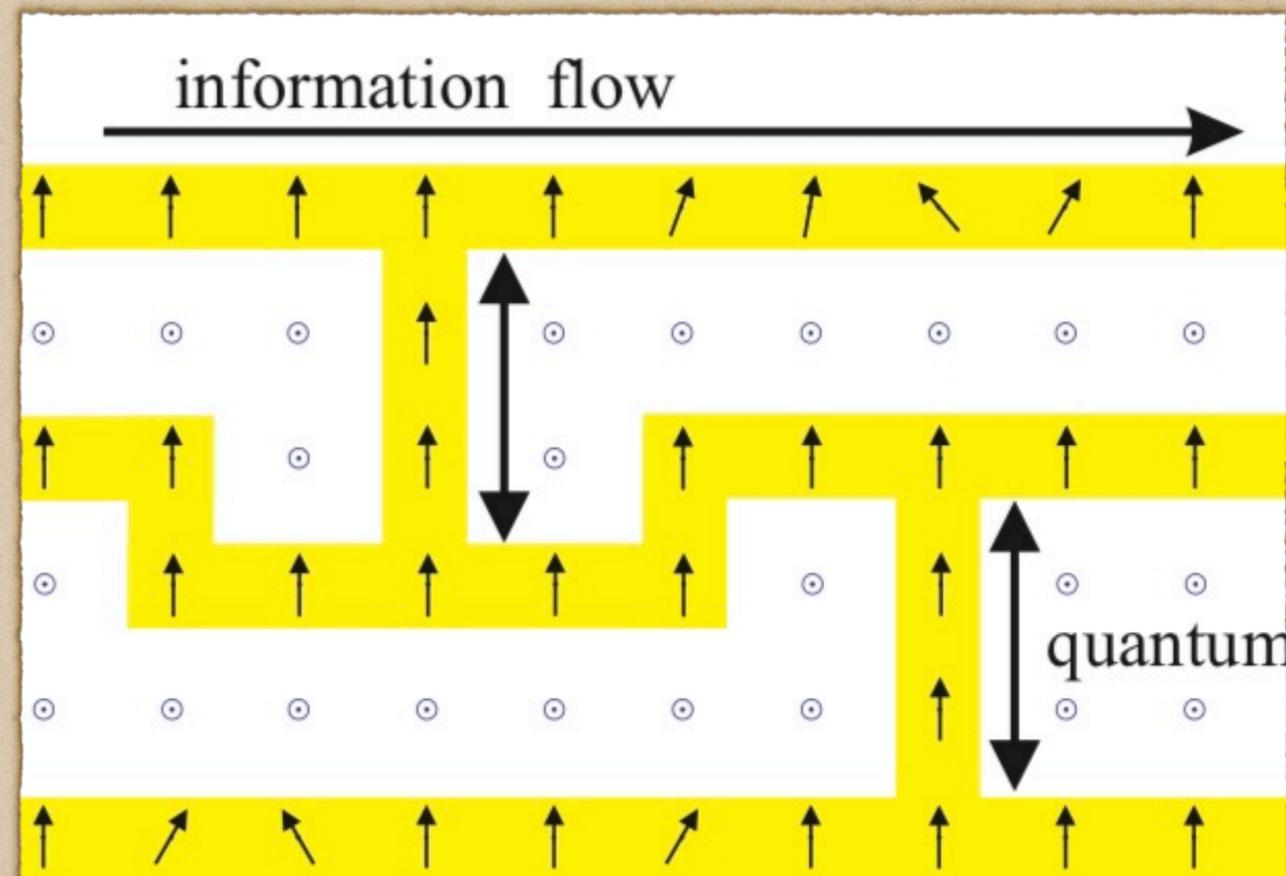


Fig. 1: Simulation of a quantum logic network by  
 two-state particles on a lattice. Before the measure-  
 ments the qubits are in the cluster state  $|\phi\rangle_c$  of (1). Circles  $\odot$   
 represent measurements of  $\sigma_z$ , vertical arrows are measure-  
 ments of  $\sigma_x$ , while tilted arrows refer to measurements in the  $x$

# Антон Цайлингер: Экспериментальная реализация 1WQC и квантовая философия

, Цайлингер в 1999 – 2010 сформулировал свою квантовую теорию информации в контексте исследований 1WQC,, которая основывается подобно теории относительности на некоем общезначимом принципе называемым как FPI+FP2 Foundational Principle (1999,2010)

## New Journal of Physics

The open-access journal for physics

### Logical independence and quantum randomness

T Paterek<sup>1,3,5</sup>, J Kofler<sup>1,2</sup>, R Prevedel<sup>2</sup>, P Klimek<sup>2,4</sup>,  
M Aspelmeyer<sup>1,2</sup>, A Zeilinger<sup>1,2</sup> and Č Brukner<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Institute for Quantum Optics and Quantum Information, Austrian Academy of Sciences, Boltzmannngasse 3, A-1090 Vienna, Austria

<sup>2</sup>Faculty of Physics, University of Vienna, Boltzmannngasse 5, A-1090 Vienna, Austria

E-mail: [tomasz.paterek@univie.ac.at](mailto:tomasz.paterek@univie.ac.at)

## New Journal of Physics

The open-access journal for physics

### Experimental realization of a quantum game on a one-way quantum computer

Robert Prevedel<sup>1</sup>, André Stefanov<sup>1,2</sup>, Philip Walther<sup>3</sup>  
and Anton Zeilinger<sup>1,2,4</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Physics, University of Vienna, Boltzmannngasse 5,  
A-1090 Vienna, Austria

<sup>2</sup>Institute for Quantum Optics and Quantum Information (IQOQI), Austrian  
Academy of Sciences, Boltzmannngasse 3, A-1090 Vienna, Austria

<sup>3</sup>Physics Department, Harvard University, Cambridge, Massachusetts 02138,  
USA

E-mail: [zeilinger-office@quantum.at](mailto:zeilinger-office@quantum.at)

New Journal of Physics 9 (2007) 205

Received 14 March 2007

Published 29 June 2007

Online at <http://www.njp.org/>

doi:10.1088/1367-2630/9/6/205

[Home](#) [Profiles](#) [Organisations](#) [Research output](#) [Projects](#) [Impact](#) [Datasets](#) ...

### Experimental realization of Deutsch's algorithm in a one-way quantum computer

Myungshik Kim, Mauro Paternostro, Mark Tame, R. Prevedel, P. Bohi, A. Zeilinger

School of Mathematics and Physics

### Experimental One-Way Quantum Computing

P. Walther<sup>1</sup>, K.J. Resch<sup>1</sup>, T. Rudolph<sup>2</sup>, E. Schenck<sup>1,\*</sup>, H. Weinfurter<sup>3,4</sup>, V. Vedral<sup>1,5,6</sup>,  
M. Aspelmeyer<sup>1</sup> & A. Zeilinger<sup>1,7</sup>

<sup>1</sup>Institute of Experimental Physics, University of Vienna, Boltzmannngasse 5, 1090  
Vienna, Austria

<sup>2</sup>QOLS, Blackett Laboratory, Imperial College London, London SW7 2BW, United  
Kingdom

<sup>3</sup>Department of Physics, Ludwig-Maximilians-University, D-80799 Munich, Germany

<sup>4</sup>Max-Planck-Institute for Quantum Optics, D-85741 Garching, Germany

<sup>5</sup>The Erwin Schrödinger Institute for Mathematical Physics, Boltzmannngasse 9, 1090  
Vienna, Austria

the down-conversion process becomes exponentially inefficient for generating larger cluster states. Our way of generating the cluster states furthermore exploits the properties of polarizing beam-splitters (PBSs) and uses post-selection. A PBS is an optical device which transmits horizontally-polarized light and reflects vertically-polarized light. Considering the two-photon case, where after the PBS in each mode one photon has to be detected in each mode after the PBS, both incoming photons must have the same polarization, when they come from different input modes, or they must have

Цайлингер попытался создать кластерное состояние 1WQC для 2-4 кубитов используя PBSs оптические поляризаторы и пост-селекцию

*New Journal of Physics, 9, 205, 2007*

# Квантовая теория информации с $FP1+FP2$

## Антон Цайлингера

- ◆ Главное допущение квантовой теории информации Цайлингера состоит в существовании неустранимой случайности (*irreducible randomness*), отсюда, обобщение относительно повсеместности *acausality* в квантовой механике.
- ◆ Первый принцип  $FP1$  Цайлингера состоит в том что элементарные квантовые системы в условиях неустранимой случайности должны быть относительно логически независимы и могли бы принимать истинные значения как некие логические утверждения ( в контексте  $1WQC$  кластерные состояния содержат некий текст или информацию которую требуется прочитать )
- ◆ Соответственно, Второй принцип  $FP2$  Цейлингера состоит в том, что в условиях неустранимой случайности элементарные квантовые системы должны нести информацию равную одному биту. Отсюда, предполагается, что кластеры в  $1WQC$  могут иметь уникальность и одновременно содержать равное количество кубитов ассоциирующееся с истинным суждением

# Вавилонская Библиотека Борхеса и IWQC

- ◆ Антон Цайлингер, таким образом, является основоположником IWQC, инициатором использования *acausality* и первым философом IWQC увидевшим аналогию с Babel Library Борхеса.
- ◆ Действительно, Вавилонская Библиотека Борхеса тождественна Вселенной и представляет мыслимое собрание бессмысленных и осмысленных текстов, оформленных в виде книг и находящихся в состоянии запутанности. По Борхесу каждая книга уникальна, однако, она содержит одинаковое число страниц, одинаковое число букв и пропусков между буквами. Каждая книга может быть эквивалентна одному кластерному состоянию в IWQC.



# Математика Вавилонской Библиотеки и неожиданные параллели в математике Мочидзуки

- ◆ Следуя аналогии Цайлингера, можно допустить ситуацию когда три отдельных кластера описывающие Анабелеву Геометрию, аналитическую теорию чисел и Геометрию Диофанта представляют уникальные «книги Борхеса», которые несмотря на различную математику должны представлять одну и ту же временную последовательность кубитов, так как они синхронно описывают один и тот же математический феномен *acausality* между сложением и умножением.
- ◆ Подобный вид семантических совпадений был открыт Inter - Universal Teichmuller Theory японского математика Синичи Мочидзуки в 2012-2024. Я называю такие синхронности принципом некаузальности (*acausality principle*)

number theory stronger version of abc/Szpiro inequalities.

- That is to say, we obtain three *a priori different* applications to
  - *anabelian geometry* (local-global Section Conjecture),
  - *analytic number theory* (nonexistence of Siegel zeroes),
  - *Diophantine geometry* (abc/Szpiro inequalities)
- a *striking example* of *Poincaré's quote*, i.e., all three are essentially the *same mathematical phenomenon* of *bounding heights*, i.e., *bounding "local denominators"*!
- Here, the *local-global Section Conjecture* application is also

## Семантические совпадения или acausalities Мочидзуки

Мочидзуки использовал такие синхронности для доказательства знаменитой ABC гипотезы в теории чисел, следуя традиции Таниямы 1955

# Некоторые математические подробности решения Мочидзуки – основы неприятия

- ◆ ABC проблема имеет фундаментальное значение в теории чисел и была сформулирована в современном виде в 1985 независимо Массе и Остерле .
- ◆ Пусть  $N$  представляет положительное целое число. Тогда согласно Основной Теореме Арифметики (ОТА) всякое  $N$  можно представить как произведение простых факторов. Массе и Остерле допустили некоторую деформацию в ОТА, когда  $N$  трансформируется в квази – приближенное число  $d = \text{Rad}(abc)$ ; например,  $60 (2.2.3.5)$  округляется до  $30 (2.3.5)$

u 2 May

3 :: Masser - Oesterle deformation

*Introduction. Masser - Oesterle deformation*

Let  $N$  be a positive integer. Then in agreement with the fundamental theorem of arithmetic  $N$  must have unique prime factorisation. Masser and Oesterle (1985) have invented a special class of deformation of the fundamental theorem of arithmetic when  $N$  is transforming into a quasi - round number  $R$  (called “ radical of the integer  $N$ ”), when  $N > R$ . For instance  $60$  is a product of  $2.2.3.5$ , but after Masser - Oesterle ‘s deformation (“::mo::”)  $60$  became a product of  $2.3.5 = 30$ .  $60 > 30$ . Similarly,  $100 = 2.2.5.5 :: mo :: 2.5 = 10$ ,  $100 > 10$ ;  $108 = 2.2.3.3.3 :: mo :: 2.3 = 6$ ,  $108 > 6$ ;  $120 = 2.2.2.3.5 :: mo :: 2.3.5 = 30$ , hence,  $120 > 30$ . Prime numbers represent an exception of Masser - Oesterle deformation, when  $N = R$ , correspondingly,  $5 :: mo :: 5$ ;  $13 :: mo :: 13$ , etc.

*Indexes of compositionality ( $\epsilon$ )*

Consider different positive composite integers having the same  $R = 2.3.5.7 = 210$  :  $1260 = 2.3.5.7$ ,  $1680 = 2.3.5.7$ ,  $2520 = 2.3.5.7 (2^3.3^2.5.7)$ ;  $5040 = 2.3.5.7$ ,  $7560 = 2.3.5.7$ ,  $10080 = 2.3.5.7$ ,  $15120 = 2.3.5.7$ ,  $20160 = 2.3.5.7$ ,  $25200 = 2.3.5.7$ ,  $45360 = 2.3.5.7$ ,  $50400 = 2.3.5.7$ . In order to distinguish such sort of quasi - round numbers ABC theorists use a special log - technique :  $\log N / \text{Log } R$ , hence, an idea of the arithmetic constant  $C$  is deduced and different numbers with the same  $R$  may have different unique “indexes of compositionality” or ( $\epsilon$ ) : for instance, ( $\epsilon$ ) $1260 = 1.335089$ ; ( $\epsilon$ ) $1680 = 1.388890$ ; ( $\epsilon$ )  $2520 = 1.464719$ ; ( $\epsilon$ )  $5040 = 1.594350$ ; ( $\epsilon$ )  $7560 = 1.670178$ ; ( $\epsilon$ )  $10080 = 1.723980$ ; ( $\epsilon$ ) $15120 = 1.799809$ ; ( $\epsilon$ )  $20160 = 1.8536106$ ; ( $\epsilon$ )  $25200 = 1.89534$ ; ( $\epsilon$ )  $45360 = 2.0052$ ; and ( $\epsilon$ )  $50400 = 2.0249$ ....

$\varepsilon < 1$  and let  $a, b, c$  be coprime positive integers

$$|c| < C(\varepsilon) R(abc)^{3(1+\varepsilon)/2}$$

$$C(\varepsilon) = 2^{5/2} \exp(0.85 \cdot 10^{30} \varepsilon^{-166/81})$$

Исходя из ИУТТ Мочидзуки формулирует ABC теорему в следующем виде :  
даются почти простые (coprimes) целые числа удовлетворяющие  $a+b=c$ , тогда  
сумма  $|c|$  всегда меньше или равна  $C(\varepsilon) R(abc) \dots$ , где  $C(\varepsilon) = \text{const}$

### *Mochizuki's Proof*

Key moment of Mochizuki's proof of ABC conjecture is connected with the application of the explicit version of Corollary 2.2 to the elliptic curve

$$y^2 = x(x-1)(x-a/c)$$

in order to obtain Theorem, where

Corollary 2.2 : There exists a constant  $C = (d, \varepsilon, K)$  such that for all  $\lambda$  belonging  $K_d$  it is suggested that we must have

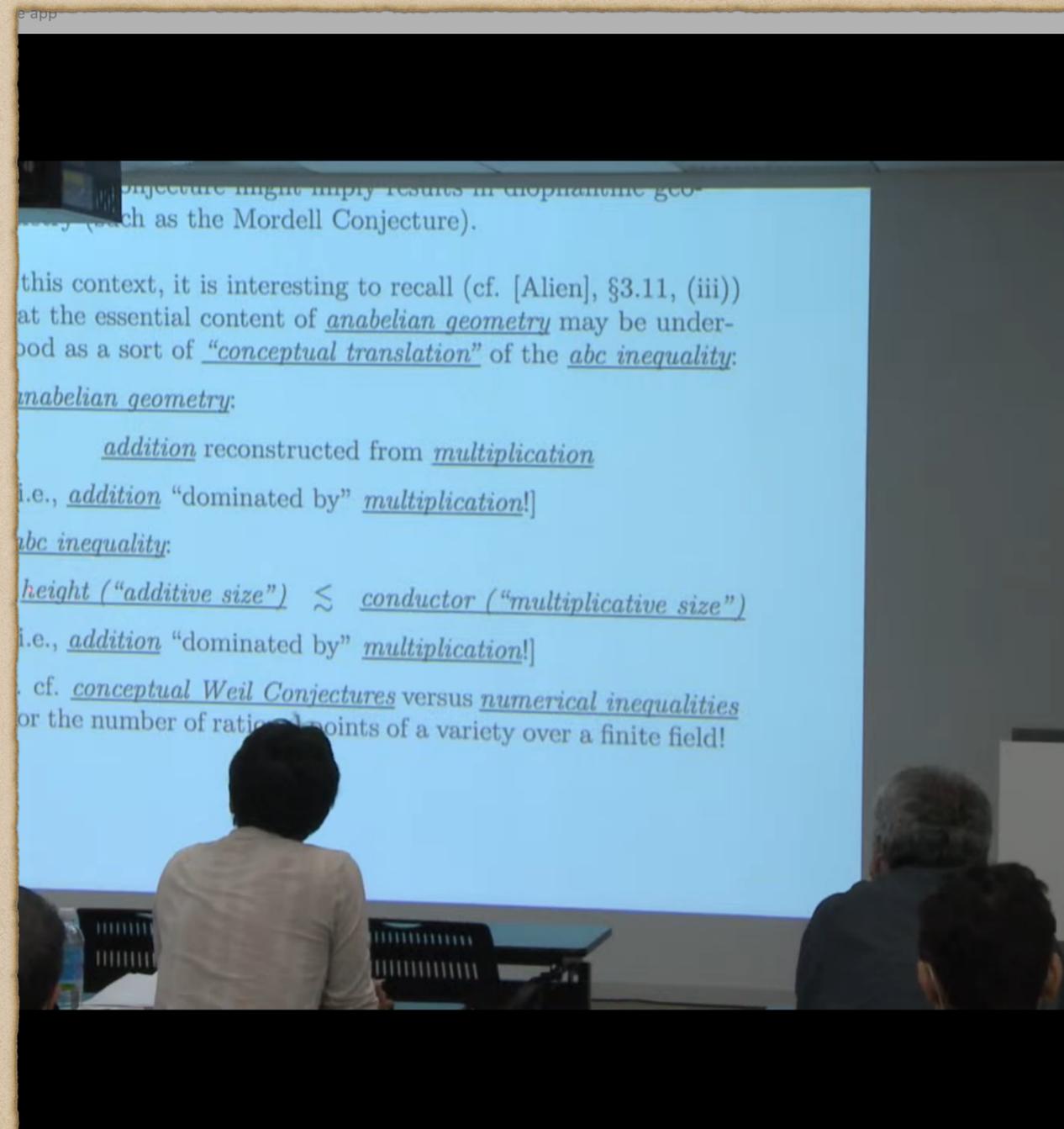
$$\frac{1}{6} \deg(q_\lambda) < (1 + \varepsilon)(\deg(\delta_\lambda) + \deg(f_\lambda)) + C.$$

Доказательство Мочидзуки строится на Утверждении 2.2 которое допускает существование некой арифметической константы  $C = (d, \varepsilon, K)$

Эксплицитная версия Утверждения 2.2 применяется для эллиптической кривой  $x(x-1)(x-a/c) = y^2$

Квантовость решения Синичи  
Мочидзуки связана с допущением  
неустранимой случайности, что  
впрочем, также отличает квантовую  
теорию информации Антона  
Цайлингера

Формулировка ABC проблемы в Интер – Универсальной  
теории Техмюллера допускает истинность деформации  
Массе – Остерле , поэтому решение ABC проблемы связано  
с геометризацией арифметики и использованием  
*acausality* принципа , отсюда, вводится неустраняемая  
случайность которая также присутствует в квантовой  
теории информации Антона Цайлингера.



# Вавилонская Библиотека в терминах ИУТ теории Мочидзуки

- ◆ Если у Брехеса Вавилонская Библиотека отождествляется со Вселенной, в терминах ИУТТ Вавилонская Библиотека ( и IWQC ) уже выглядит несколько иначе : в виде *sequence of nested universes* Мочидзуки, в которых располагаются синхронно сосуществующие «театры арифметических геометрий» .
- ◆ При этом несколько кластерных состояний Библиотеки могут иметь тождественные смыслы. *Acausality* . Квантовость ИУТТ.



So what is IUTeich about?  
 ...an explanation via  
 “Sokkuri animation”



The starting point of “IUTeich” (i.e., Inter-universal Teichmüller Theory) lies in the image of a

**sequence of nested universes.**

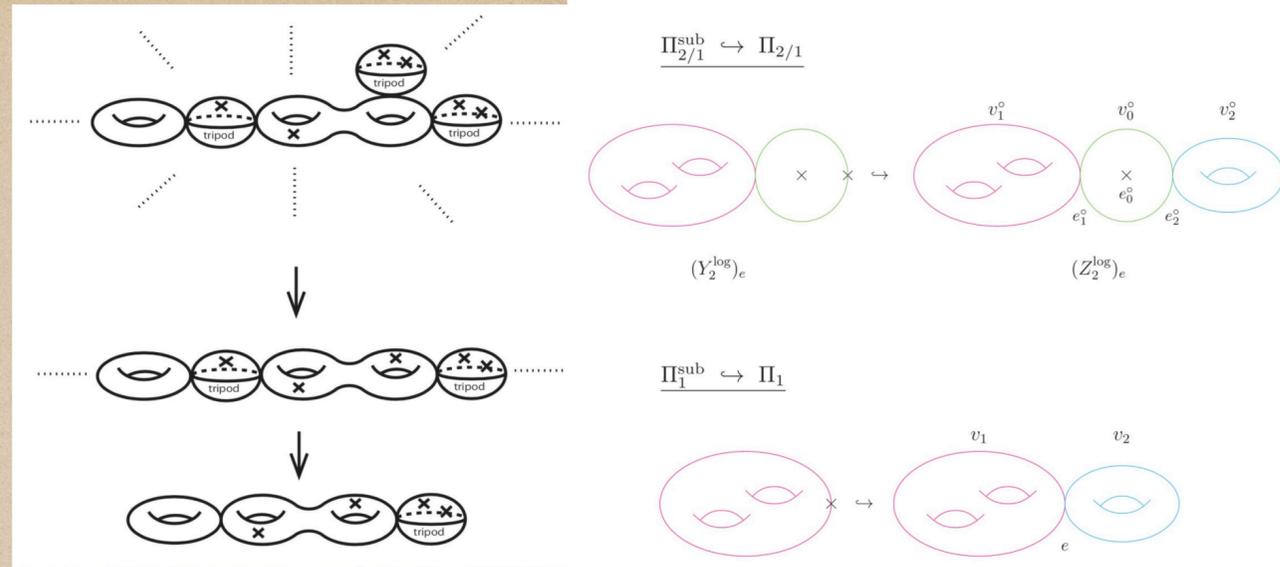
This sort of image apparently goes back to ancient times and appears not only in the “Sokkuri Hausu” (i.e., “Identical House”) animation discussed here, but in various stories and myths all over the world. In the case of IUTeich, the various universes correspond to

**“classical arithmetic geometry theaters in which conventional ring theory/scheme theory is valid”.**

In the “Sokkuri animation”, these universes are represented by “houses”. Within each classical arithmetic geometry theater, one has a **theta function**; it is this theta function that plays the role of “Frobenioid-theoretic” (i.e., non-scheme-theoretic! — cf. [Frobenioids I, II](#); [Étale Theta](#)) “bridge” to the “next universe”. In the “Sokkuri animation”, this link furnished by the

**theta function corresponds to the gaze of the little girl into the “small house”.**

Indeed, the large eyes of the little girl look somewhat like thetas  $\Theta$ ! In IUTeich, **Galois groups** and **arithmetic fundamental groups** behave as though they are made of a “mysterious substance” that allows them to pass freely, in an isomor-



theta function that plays the role of “Frobenioid-theoretic” (i.e., non-scheme-theoretic! — cf. [Frobenioids I, II](#); [Étale Theta](#)) “bridge” to the “next universe”. In the “Sokkuri animation”, this link furnished by the

**theta function corresponds to the gaze of the little girl into the “small house”.**

Indeed, the large eyes of the little girl look somewhat like thetas  $\Theta$ ! In IUTeich, **Galois groups** and **arithmetic fundamental groups** behave as though they are made of a “mysterious substance” that allows them to pass freely, in an isomorphic fashion, between the various universes without being subject to expansion or contraction. In the “Sokkuri animation”, this “mysterious substance” corresponds to the **“mysterious stars”** that form the link between the “small” and “large” houses. The

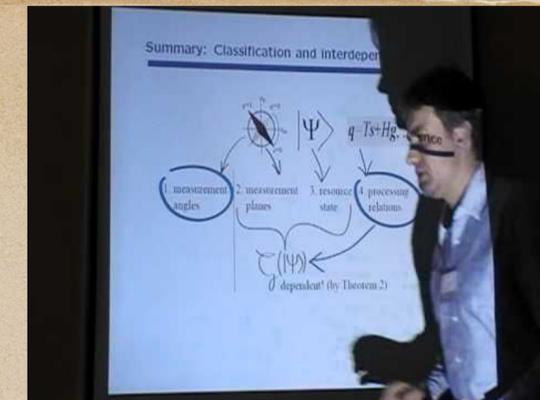
**rotation of these “mysterious stars”**

may be thought of, relative to IUTeich, as representing the nature of the “étale-like structures” that occur in the theory of Frobenioids (cf. [Frobenioids I, II](#)) or, alternatively, as corresponding to the **rotation of addition and multiplication** that occurs in the mono-anabelian theory of [Topics III](#). The deepest and most pivotal portion of IUTeich consists of a certain **canonical splitting** of the sequence of nested universes, a splitting which is constructed by means of the

**mono-anabelian theory of [Topics III](#) and the various rigidity properties of the étale theta function**

(cf. [Étale Theta](#) for more on the latter). This canonical splitting corresponds to the **canonical liftings** of  $p$ Teich (i.e.,  $p$ -adic Teichmüller theory) or, at a more elementary level, the **Teichmüller representatives of a Witt ring**. (Incidentally, in the  $p$ -adic theory, the various “universes” of IUTeich correspond to the various positive characteristic algebraic geometries contained in the various subquotients “ $p^n/p^{n+1}$ ”.)

# Некоторые приложения 1WQC/MBQC



- ◆ КВАНТОВЫЕ ИГРЫ легко симулируются с помощью однонаправленных квантовых компьютеров. Экспериментальное наблюдение этого рода получено в лаборатории Цайлингера в 2007.
- ◆ КВАНТОВАЯ ГРАВИТАЦИЯ. Как показал еще в 2012 Рауссендорф (см YouTube) 1WQC содержит эвристики позволяющие сформулировать решение проблемы квантовой гравитации. Логически это выглядит примерно следующим образом. Релятивистская гравитация представляет кривизну пространства - времени и не рассматривается как некая классическая физическая сила. Однако чисто математические проблемы квантизации кривизны пространства - времени в астрофизике делают пострелятивистскую теорию гравитации достаточно проблематичной. 1WQC предлагает несколько отличное понимание этой проблемы так как в 1WQC пространство - время Вселенной может быть записано как кластерное состояние множества запутанных кубитов, измерения (реализация событий) которых способны породить временной порядок Вселенной. Рауссендорф пытается сравнить принцип временного порядка 1WQC и трансформацию Лоренца в ОТО. Отсюда, появляются идеи квантовой эволюции Вселенной и проблемы поиска оптимального квантового алгоритма Природы используемого эволюцией.
- ◆ ПОЛЯРИТОННЫЕ КВАНТОВЫЕ КОМПЬЮТЕРЫ И КВАНТОВЫЙ МОЗГ. Проект поляритонного квантового компьютера который развивают российская и китайская лаборатории Алексея Кавокина может получить неожиданную поддержку экспериментаторов реализующих гибридные версии квантовых вычислений. Отчасти потому что поляритонные квантовые компьютеры оперируют с кластероподобными тысячами кубитов и проблема инжиниринга гейтов стоит здесь действительно остро. Однонаправленные квантовые вычислители не заменяют но помогают упростить стандартные квантовые вычисления Поляритонная модель мозга (Павлов - Бор, 1934).

