

Проблем са квантном физиком

Игор Салом, Институт за физику у Београду

Подржано од стране Фонда за науку Републике Србије, број 7745968,
„Квантна гравитација преко виших гејџ теорија 2021“ (QGHG-2021)



Фонд за науку
Републике Србије

Из угла наставника

- Никад помишљао да се бавим физиком - до књиге Џона Грибина
- 20так година менторске/доцентне у МГ
- Мотиви:
 - волео бих да је ме
 - “нећу се преклапати
 - “можда ћете некад пожелети да размислите ко сте, шта сте и где сте”
- Симптоми лошег разумевања квантне физике
 1. Хајзенбергов микроскоп
 2. Декохеренција решава проблем мерења
 3. “Чудесно: и талас и честица!”

**Значај:
превазилажење илузије о
механицистичком
универзуму!**

Појмови

- Дискретност природе (Планк, Ајнштајн)
- Таласно-честични дуализам (де Број/љ)

 - таласна функција (Шредингер)
- Случајност у физици (Макс Борн)
 - релације неодређености (Хајзенберг)
 - комплементарност (Нилс Бор)
- Суперпозиција и мерење (фон Нојман)
 - Парадокс Вигнеровог пријатеља (Вигнер)
- Дистантне корелације - entanglement (Ајнштајн)
 - Белова неједнакост (Џон Бел)

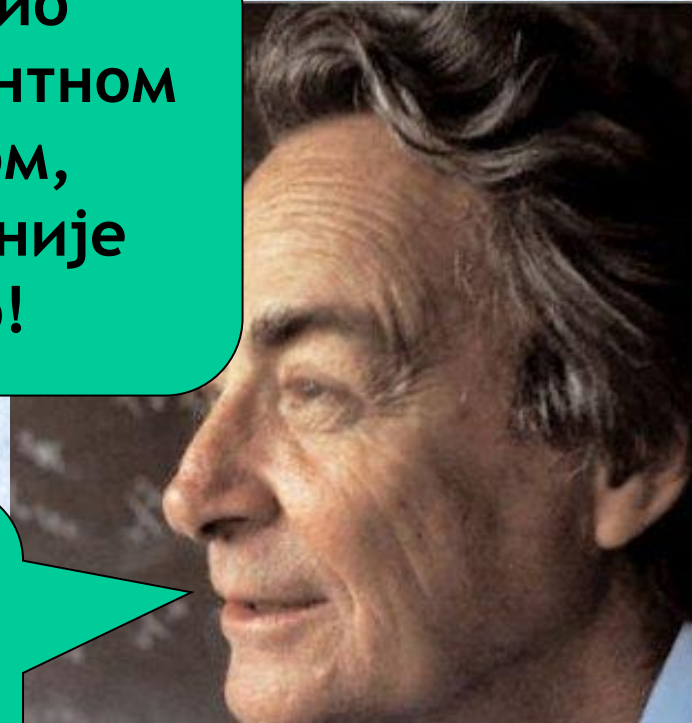
Знамо да је квантна физика „чудна“ ...



Нилс Бор

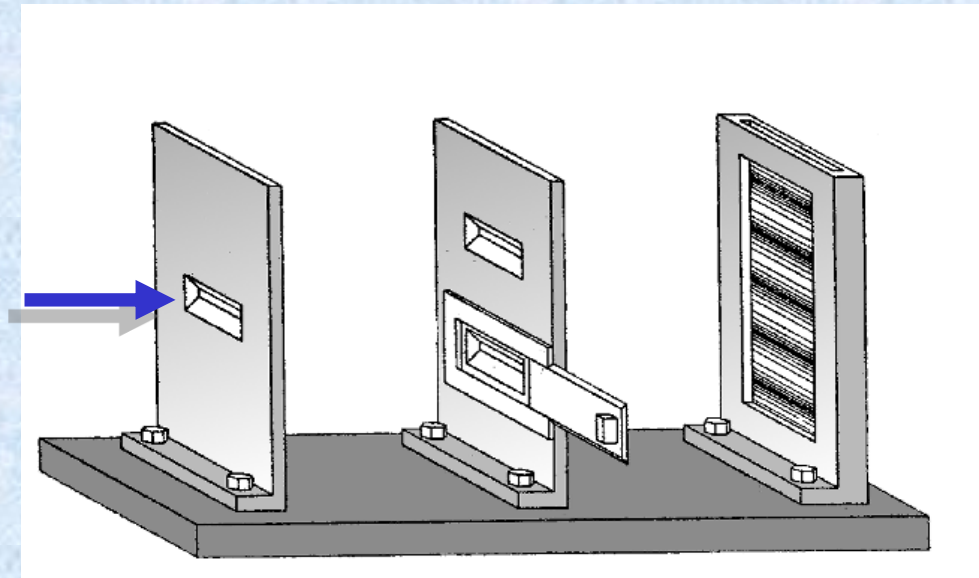
Ко није био
запањен квантном
механиком,
сигурно је није
разумео!

Мислим да
безбедно могу
рећи да нико не
разуме квантну
физику.



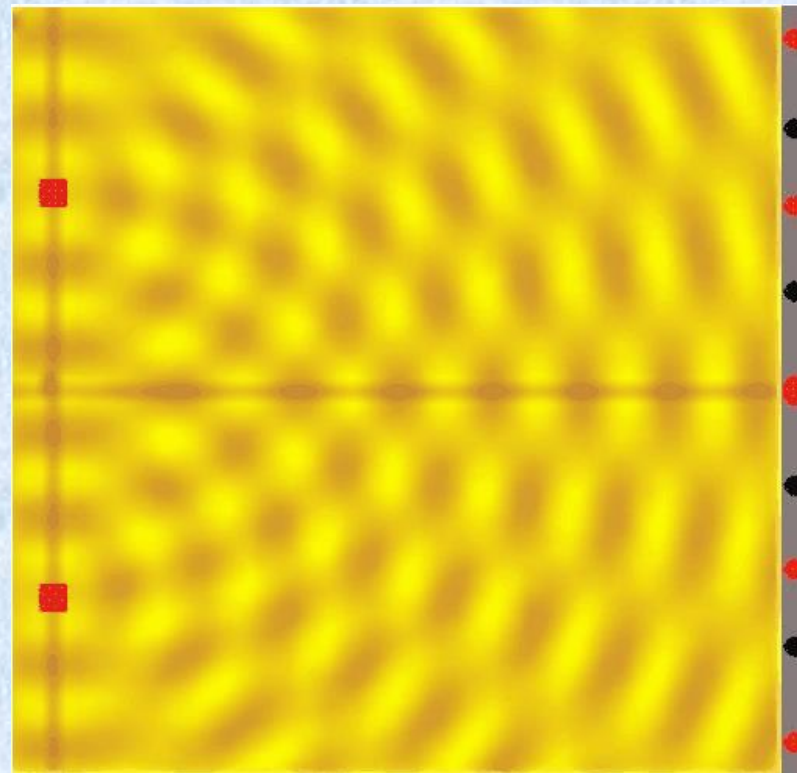
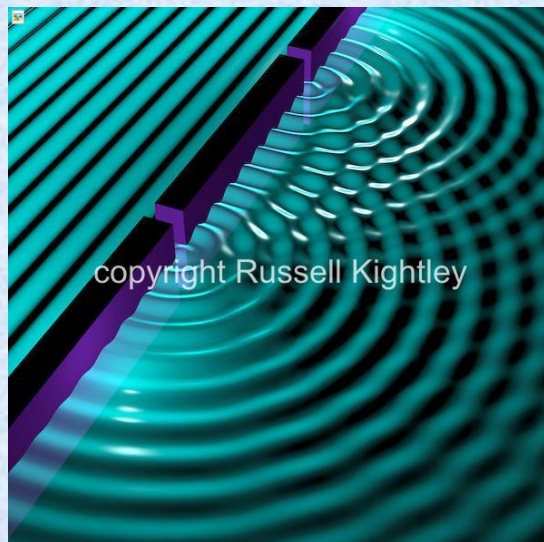
Ричард
Фајнман

“Double-Slit” експеримент



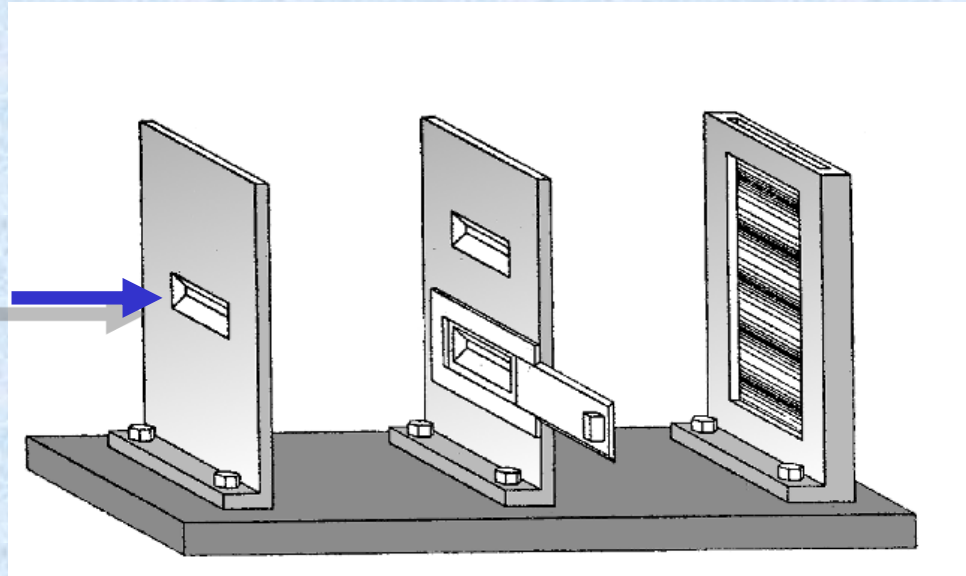
Фајнман: експеримент са два прореза „је феномен који је немогуће објаснити на било који класичан начин и који садржи у себи суштину квантне механике. Заправо, он садржи једину (кључну) мистерију квантне механике.”

Интерференција таласа

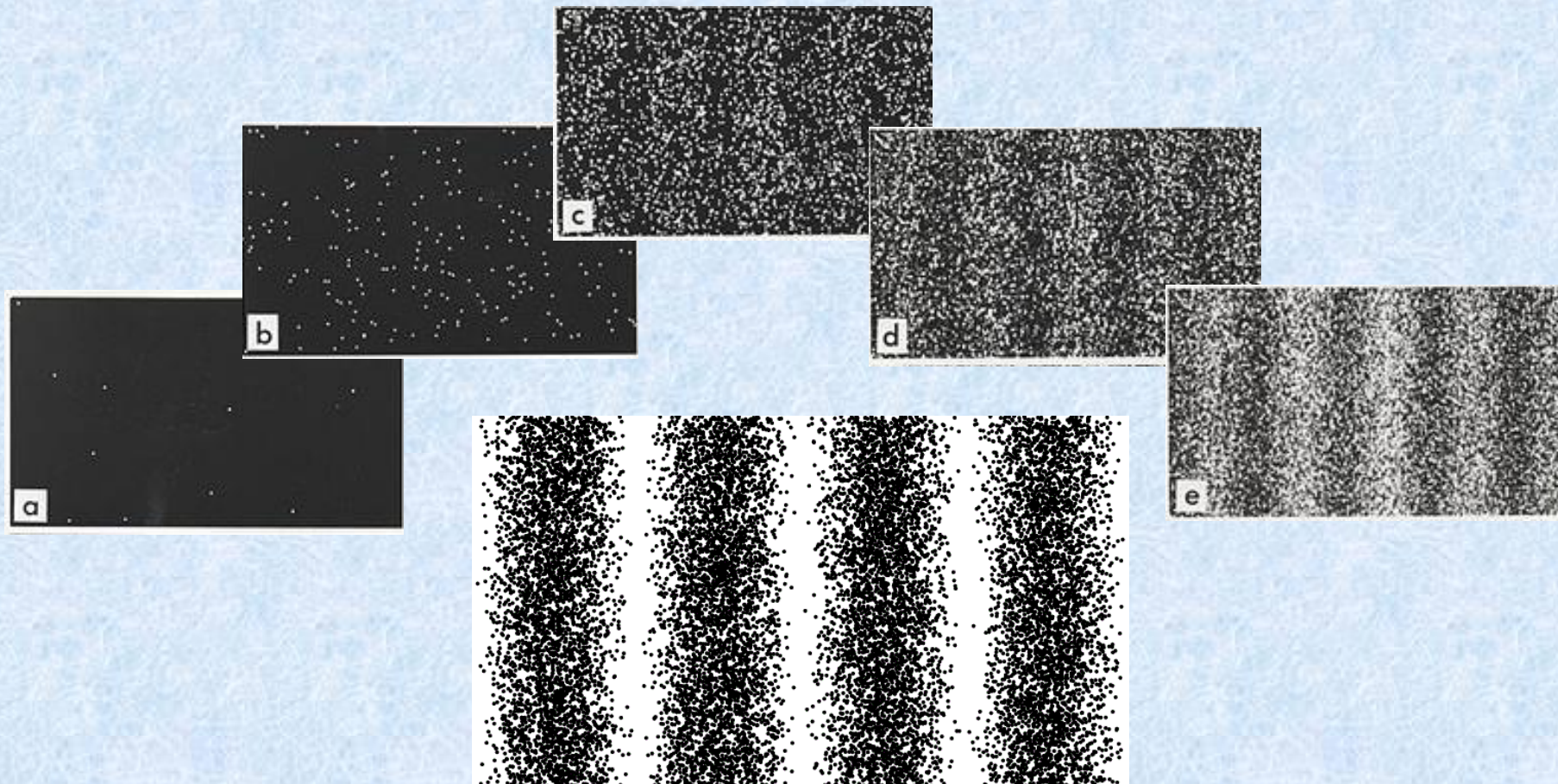


“Double-Slit” експеримент

електрони →

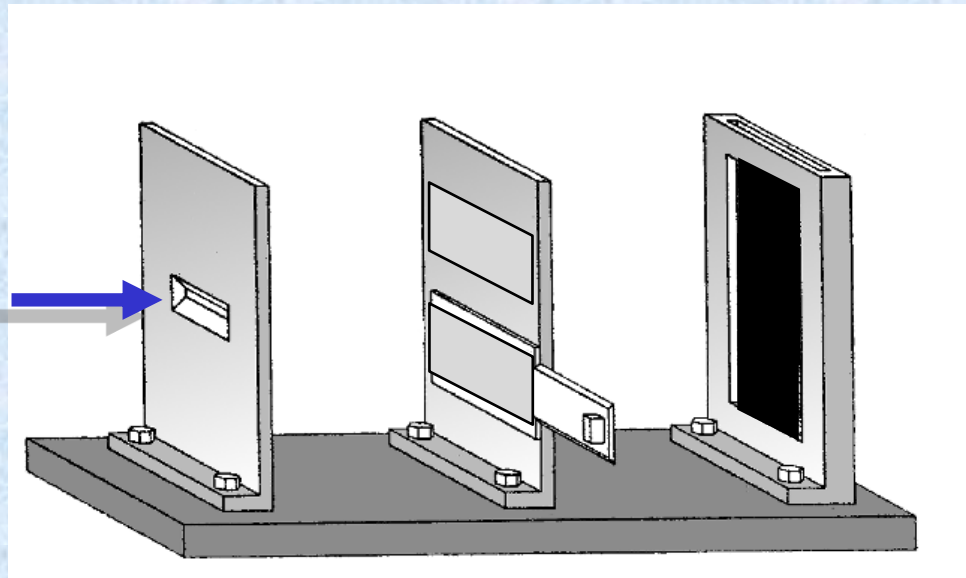


Један по један електрон



“Double-Slit” експеримент

електрони →

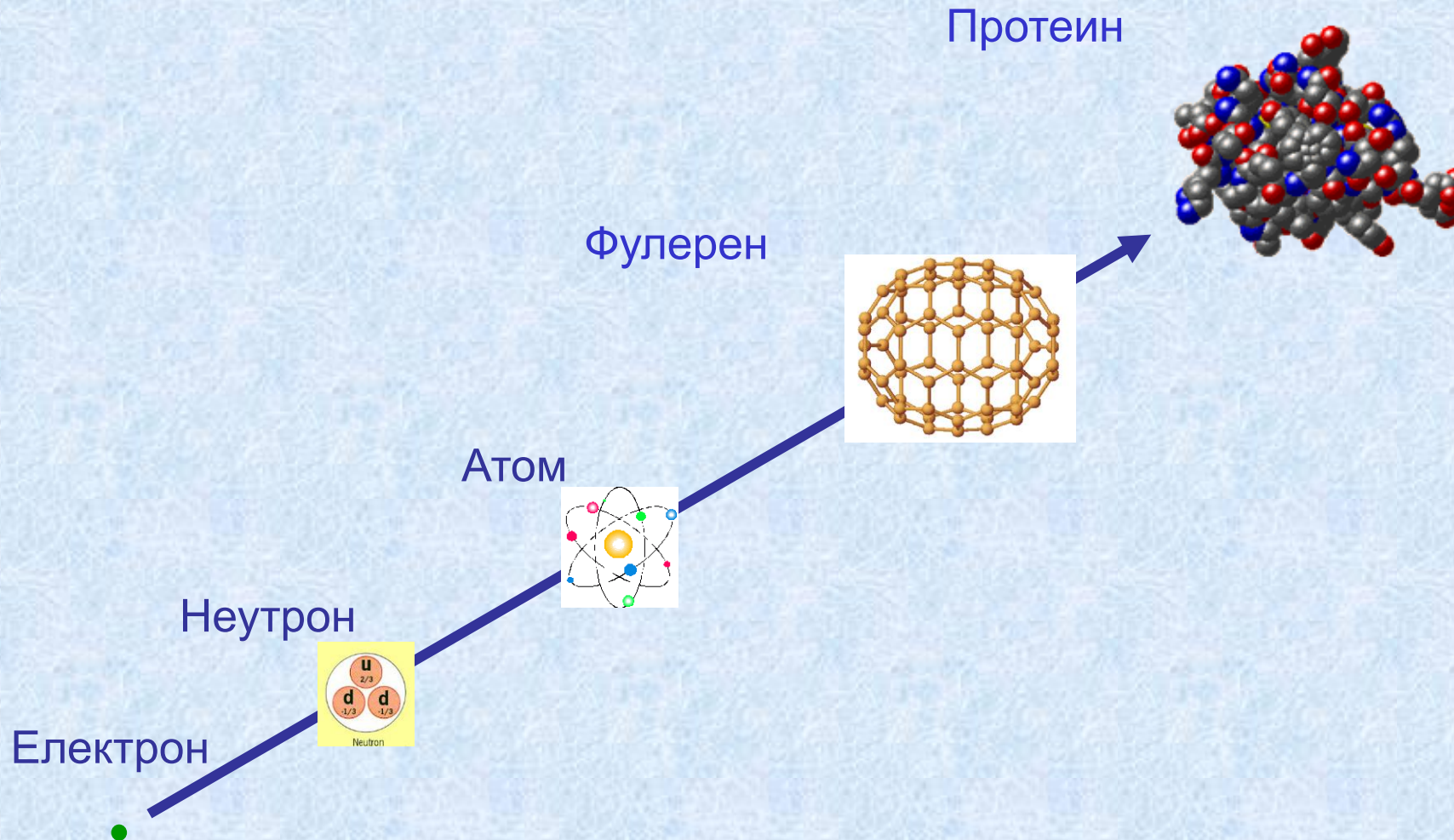


“Double-Slit” експеримент

Како електрон зна да ли га посматрамо!?

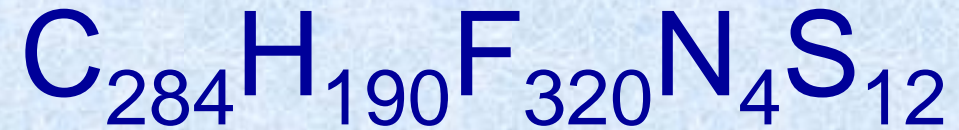


Докле можемо ићи?

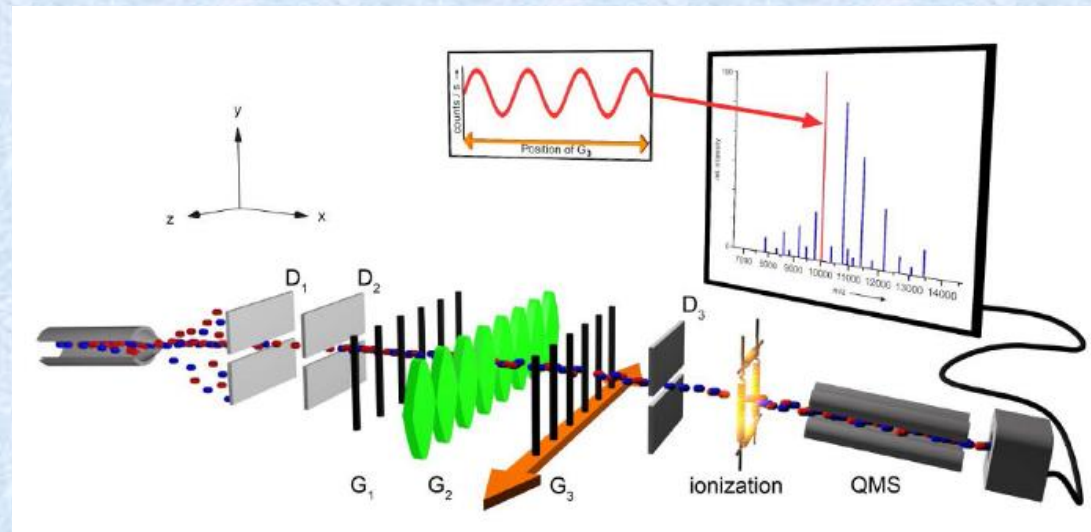


Светски рекорд:

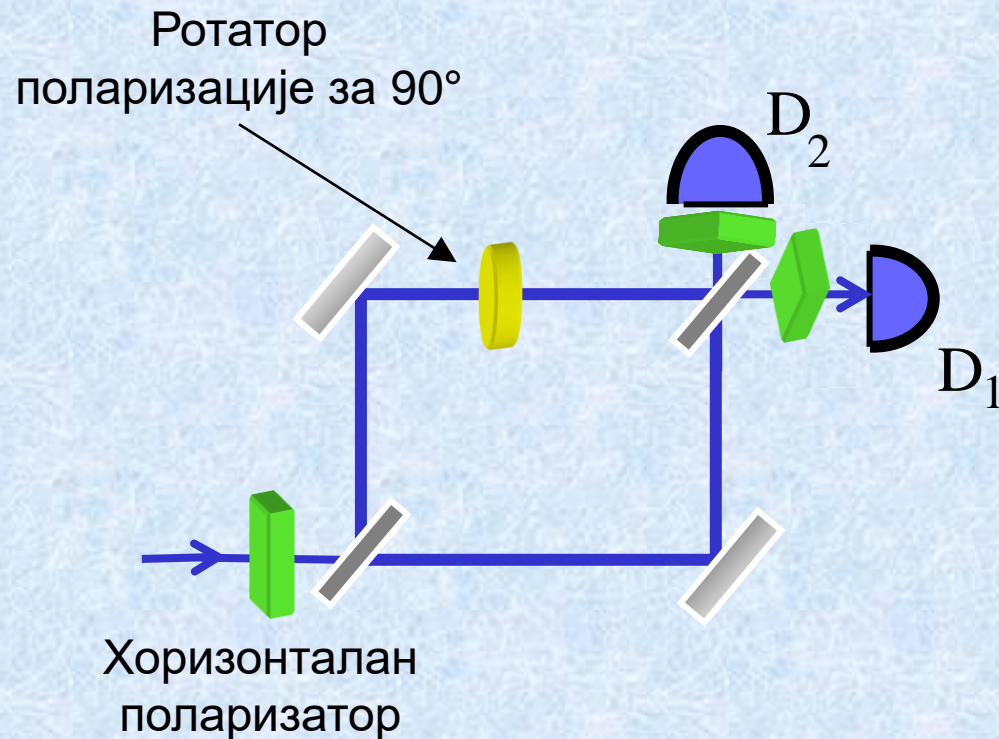
(Vienna Group, 2013.)



- Маса преко **10.000** атомских јединица!
- **810** атома у једном молекулу!

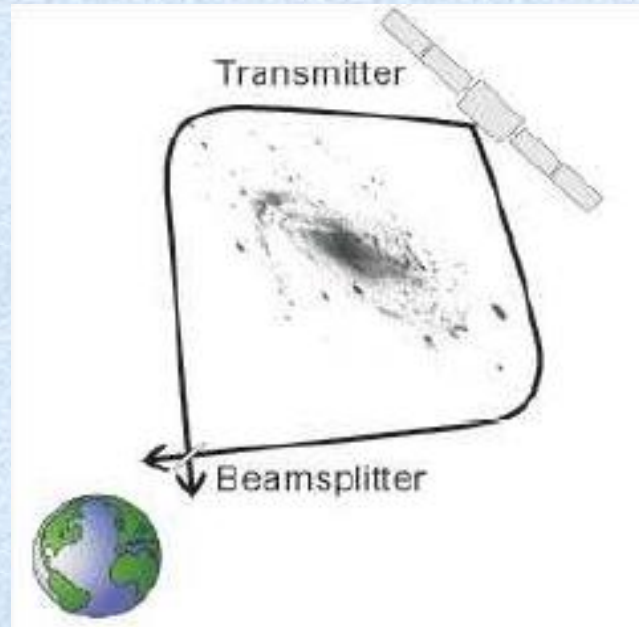


Квантни брисач



Ако потпуно обришемо информацију о томе којим путем је честица ишла, интерференција се поново јавља.

Вилеров „Delayed Choice Experiment“



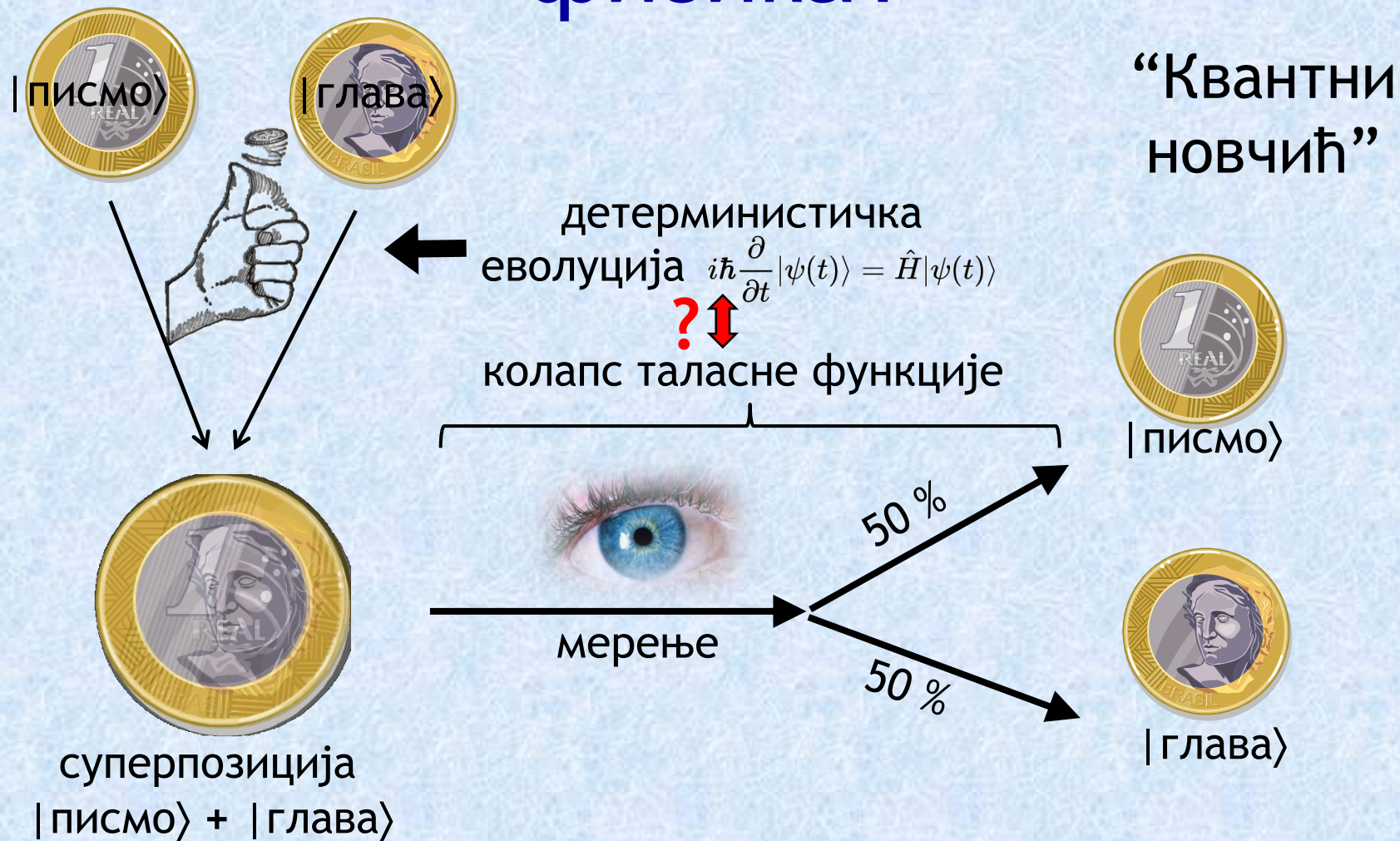
Вилерова идеја

Па добро,
колико је
онда овакав
фотон
„стваран“?!?

„One decides whether the photon shall have come by one route, or by both routes after it has already done its travel.“

J. A. Wheeler

Како на ово гледа стандардна квантна физика?



“Measurement problem”

- Процес 1 – Мерење:
спектрална декомпозиција

$$M = \sum_m m P_m = \sum_m m |m\rangle \langle m|$$

$$p(m) = \langle \psi | P_m | \psi \rangle \leftarrow \text{случајност!!!}$$

$$|\psi\rangle \rightarrow \frac{P_m |\psi\rangle}{\sqrt{p(m)}} \leftarrow \text{скоковит колапс!!!}$$

- Процес 2 – Еволуција:

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} |\psi(t)\rangle = \hat{H} |\psi(t)\rangle$$

континуална и
детерминистичка!!!

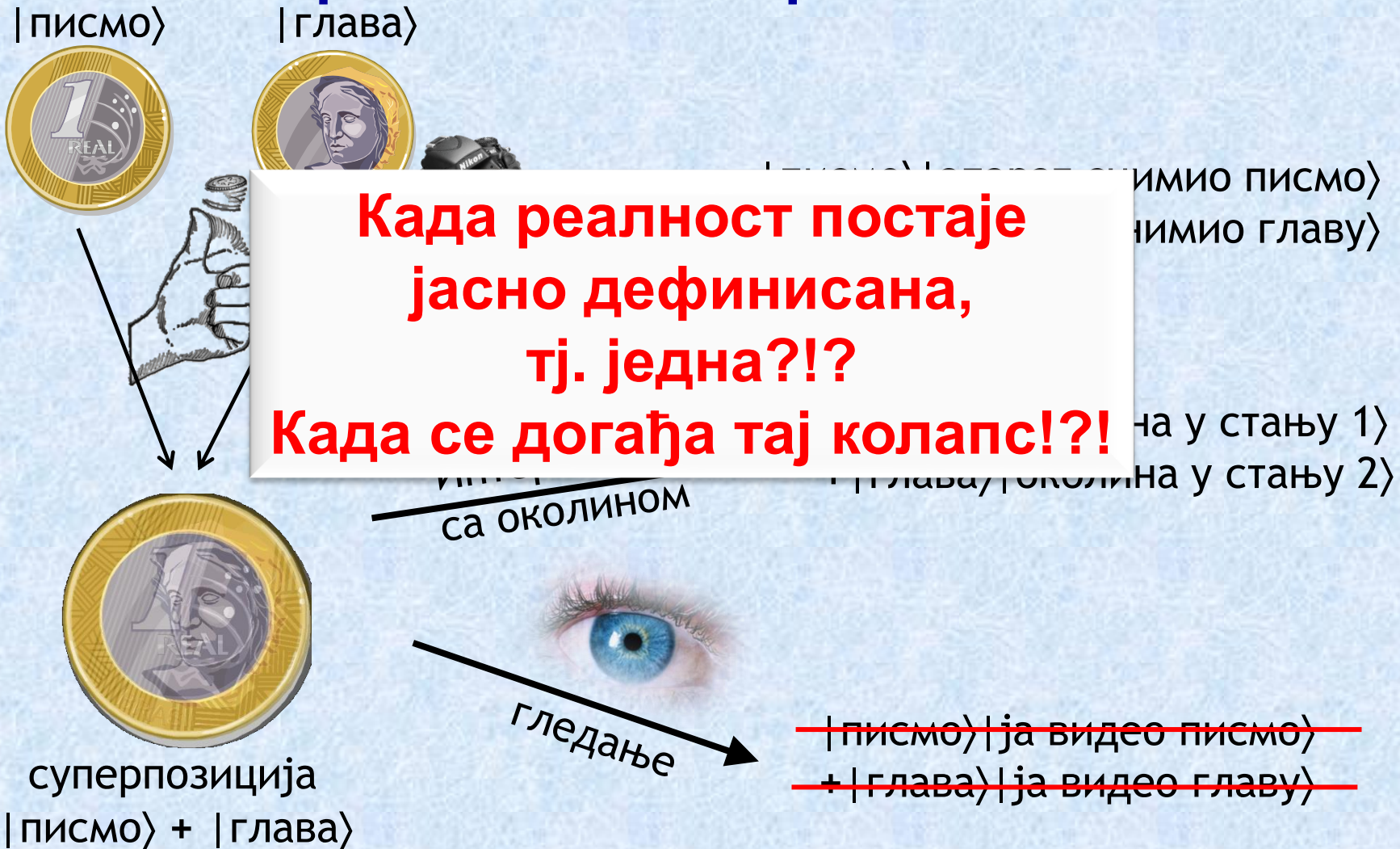
„Хајзенбергов
рез“

контрадикторни!!!

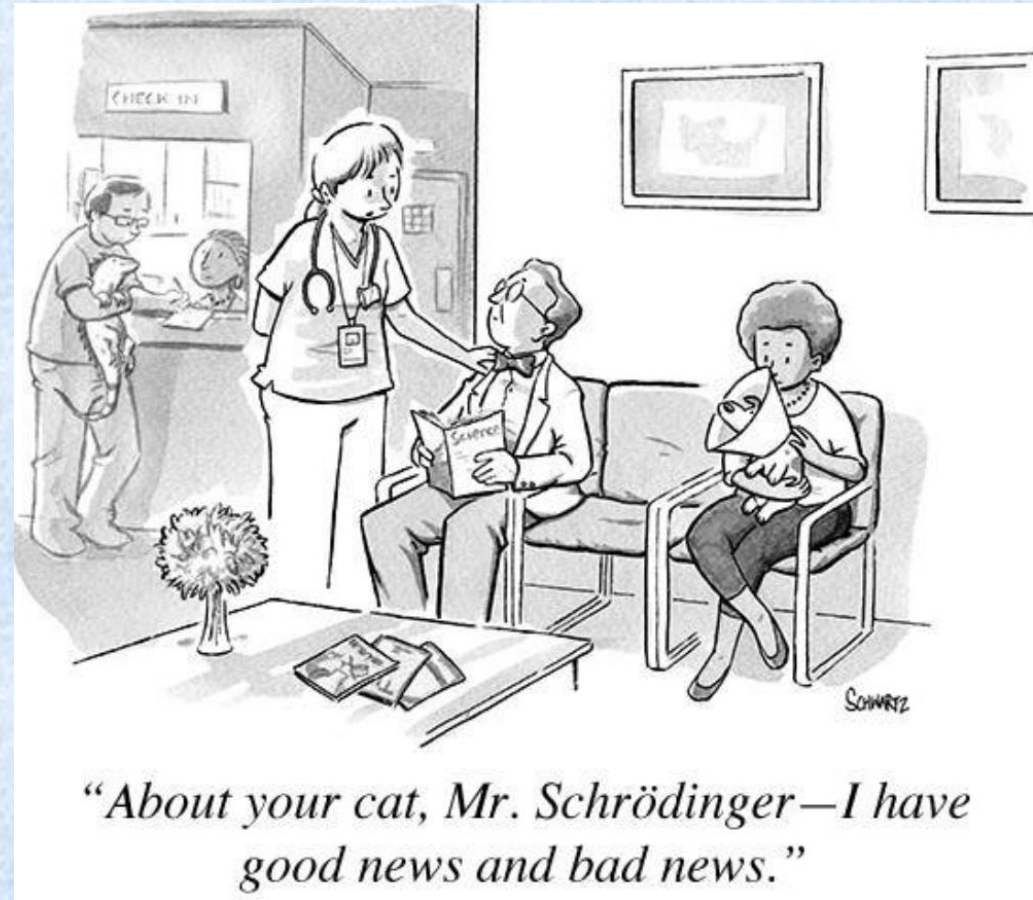
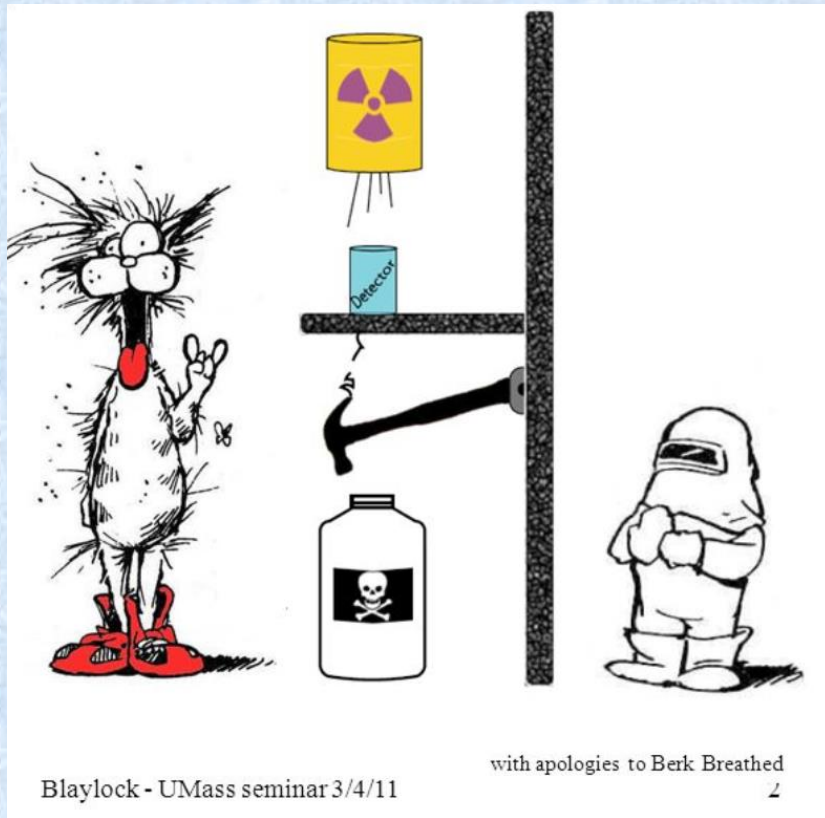


Математички: декохеренција

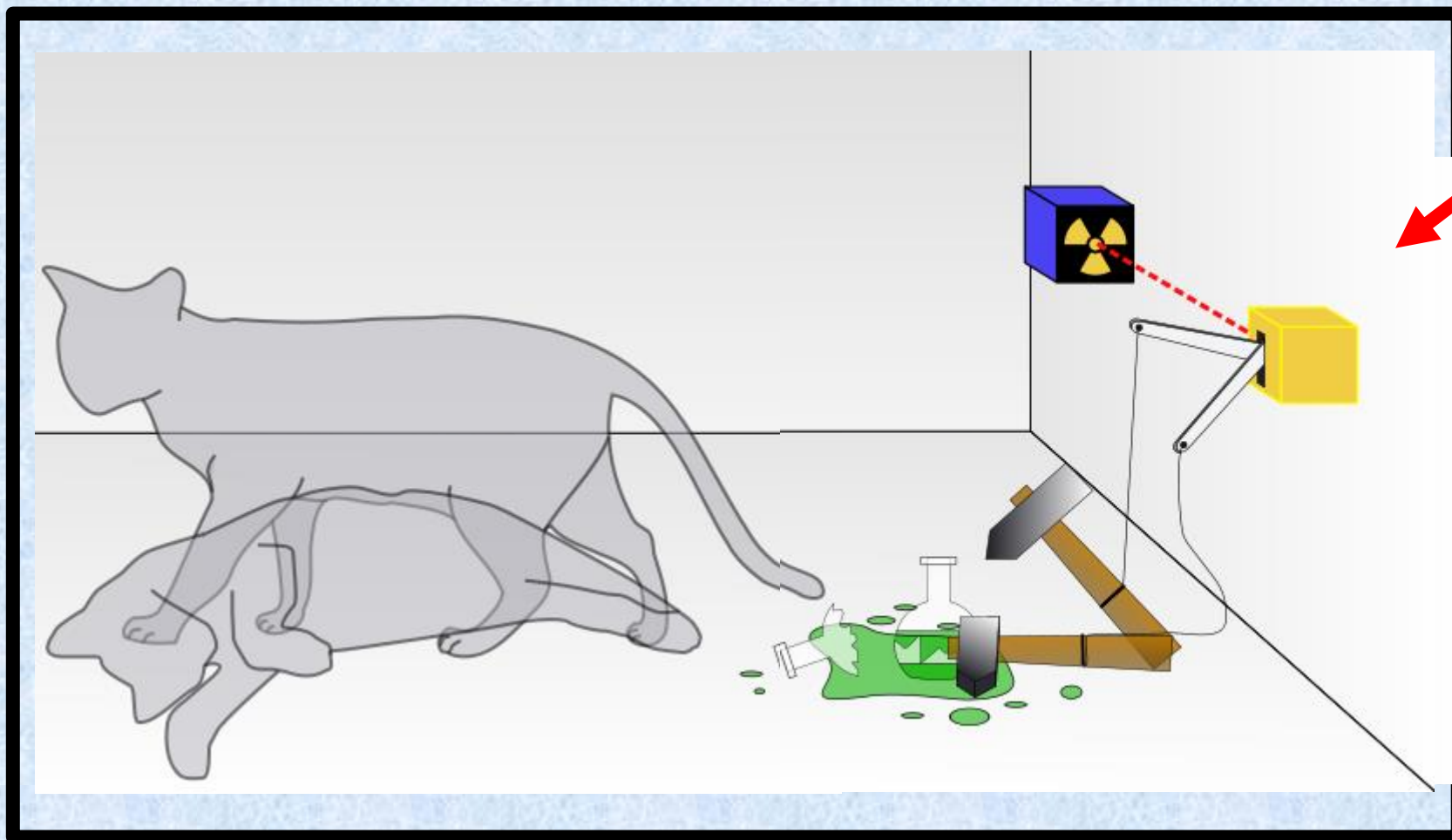
~ мерење = „корелисање“



Илустрација: Шредингерова мачка



Шредингерова мачка

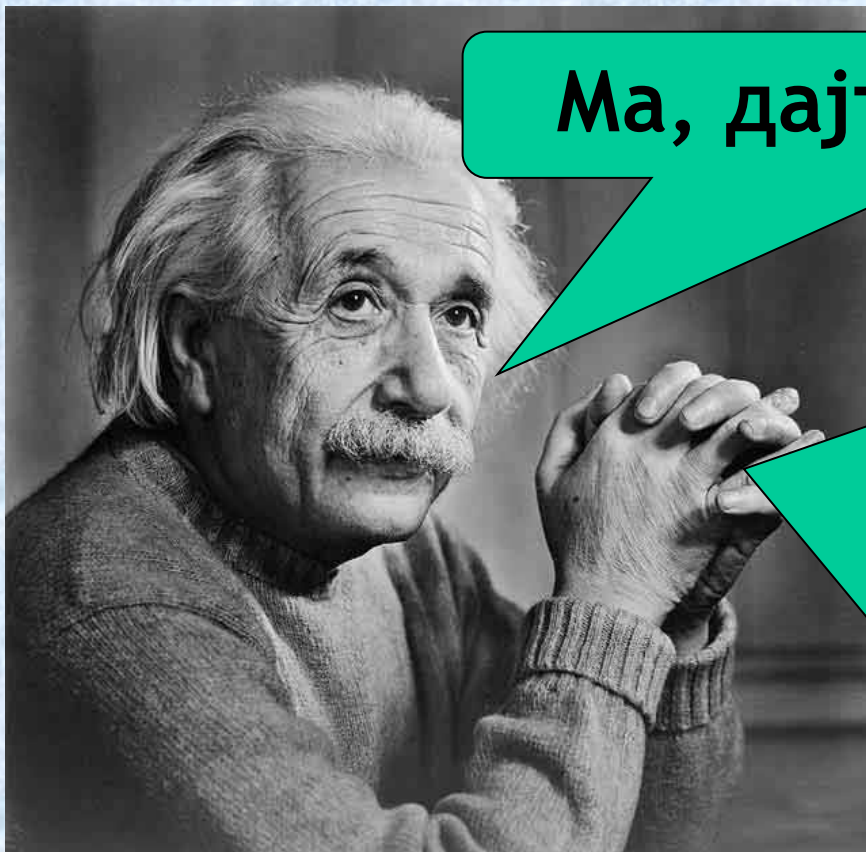


„Фон
Нојманов
ланац“

Вигнеров пријатељ



- Из угла Вигнера:
 $|жива м. \rangle |пријатељ види живу \rangle + |мртва м. \rangle |пријатељ види мртву \rangle$
 - Да ли би експеримент потврдио ову суперпозицију?
 - Шта у то време **доживљава** пријатељ?



Ма, дајте молим вас!?!

Пре свега, Бог се ни не коцка, а о осталом да ни не дискутујем. Једног дана ћемо ми све то здраворазумски објаснити, и онда ће нам бити смешно шта смо уопште помишљали!

Бор vs. Ајнштајн



MAY 15, 1935

PHYSICAL REVIEW

VOLUME 47

Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?

A. EINSTEIN, B. PODOLSKY AND N. ROSEN, *Institute for Advanced Study, Princeton, New Jersey*
(Received March 25, 1935)

In a complete theory there is an element corresponding to each element of reality. A sufficient condition for the reality of a physical quantity is the possibility of predicting it with certainty, without disturbing the system. In quantum mechanics in the case of two physical quantities described by non-commuting operators, the knowledge of one precludes the knowledge of the other. Then either (1) the description of reality given by the wave function in

quantum mechanics is not complete or (2) these two quantities cannot have simultaneous reality. Consideration of the problem of making predictions concerning a system on the basis of measurements made on another system that had previously interacted with it leads to the result that if (1) is false then (2) is also false. One is thus led to conclude that the description of reality as given by a wave function is not complete.

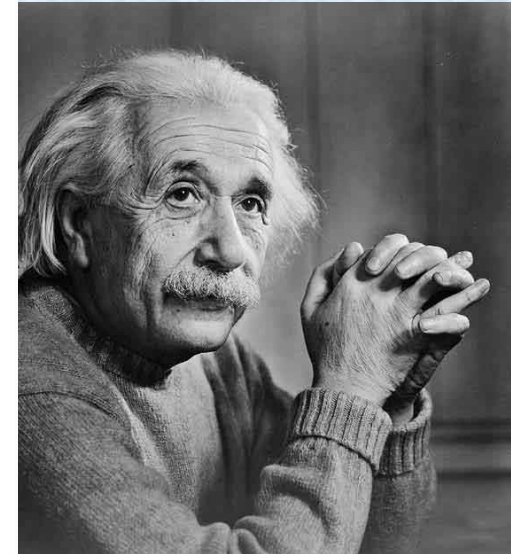
1.

ANY serious consideration of a physical theory must take into account the distinction between the objective reality, which is independent of any theory, and the physical concepts with which the theory operates. These concepts are intended to correspond with the objective reality, and by means of these concepts we picture this reality to ourselves.

In attempting to judge the success of a physical theory, we may ask ourselves two questions: (1) "Is the theory correct?" and (2) "Is the description given by the theory complete?" It is only in the case in which positive answers may be given to both of these questions, that the concepts of the theory may be said to be satisfactory. The correctness of the theory is judged by the degree of agreement between the conclusions of the theory and human experience. This experience, which alone enables us to make inferences about reality, in physics takes the form of experiment and measurement. It is the second question that we wish to consider here, as applied to quantum mechanics.

Whatever the meaning assigned to the term *complete*, the following requirement for a complete theory seems to be a necessary one: *every element of the physical reality must have a counterpart in the physical theory*. We shall call this the condition of completeness. The second question is thus easily answered, as soon as we are able to decide what are the elements of the physical reality.

The elements of the physical reality cannot be determined by *a priori* philosophical considerations, but must be found by an appeal to results of experiments and measurements. A comprehensive definition of reality is, however, unnecessary for our purpose. We shall be satisfied with the following criterion, which we regard as reasonable. *If, without in any way disturbing a system, we can predict with certainty (i.e., with probability equal to unity) the value of a physical quantity, then there exists an element of physical reality corresponding to this physical quantity*. It seems to us that this criterion, while far from exhausting all possible ways of recognizing a physical reality, at least provides us with one





Алиса на
Алтаиру

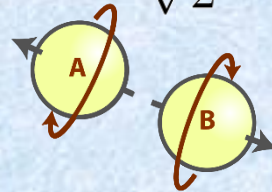
ЕПР парадокс



Боб на
Бетелгезу

← 650 св. год. →

“entanglement”: $|\Psi\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|\uparrow\rangle|\downarrow\rangle - |\downarrow\rangle|\uparrow\rangle)$



1. Алиса измери спин дуж X своје честице. Затим Боб измери Y спин своје честице и тиме аутоматски сазнамо и Y компоненту спина Алисине честице, а X смо већ знали!

Ипак, захваљујући индетерминизму кв. физике,

и “no cloning” теореме

2. Ако прво измери Боб, а онда Алиса, резултат на Бетелгезу није могуће овако пренети информацију, па ово не противречи теорији релативитета...
„spooky action at a distance“

⇒ ЕПР је само филозофски аргумент!

3. Још горе, према квантној механици, Боб може до неке да утиче на то у ком ће стању да заврши Алисин фотон:

a) Ако измери X спин своје честице, Алисин ће постати ← или →

b) Ако измери Y спин своје честице, Алисин ће постати ↑ или ↓

А како акције Боба на Бетелгезу не могу да тренутно утичу на Алтаир, следи да нешто не ваља са логиком квантне механике! У најмању руку је некомплетна!

Локализам vs.

Les chaussettes
de M. Bertlmann
et la nature
de la réalité

"BERTLMANN'S
SOCKS AND THE
NATURE OF
REALITY"

Fondation Hugot
juin 17 1980

pink

not
pink

Fig. 1.



Џон Бел



Проф. Бертлман



Доста филозофирања, знам како да експериментом откријемо ко је у праву!

Белова теорема: Ниједна „локално-реалистична“ теорија не може репродуковати све предикције квантне физике.

Џон Бел

Белова неједнакост (CHSH варијанта):

У локално-реалистичним теоријама (за разлику од кв. физике) мора да важи

$$S = E(a, b) - E(a, b') + E(a', b) + E(a', b') \leq 2$$

Ово унемо да измеримо!

Кључно за Белову неједнакост!

- Ради се о исказу обичне/класичне логике
- Користио је само претпоставке:
 1. **Реалности** – да су особине система реалне саме по себи, тј. добро дефинисане без обзира на мерење (чарапе имају дефинисане боје, а честице спин и пре мерења). „Ако дрво падне у шуми, произвешће буку чак и ако нема ко да то чује.“
 2. **Локалности** – утицаји не могу да се простиру брзином већом од светлосне.

Эксперимент!

- Freedman and Clauser (1972), Aspect et al. (1982), Tittel et al. (1998), Weihs et al.

(19

Gr

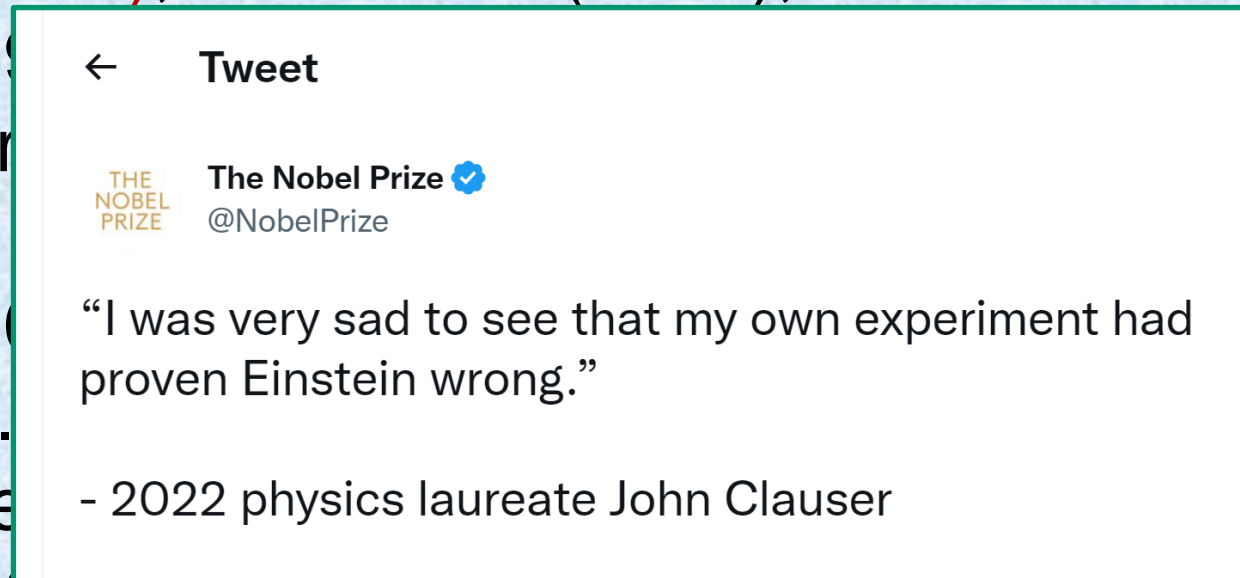
...

(20

al.

Be

(2018)



001),

008),

et al.

ner et

BIG

t al

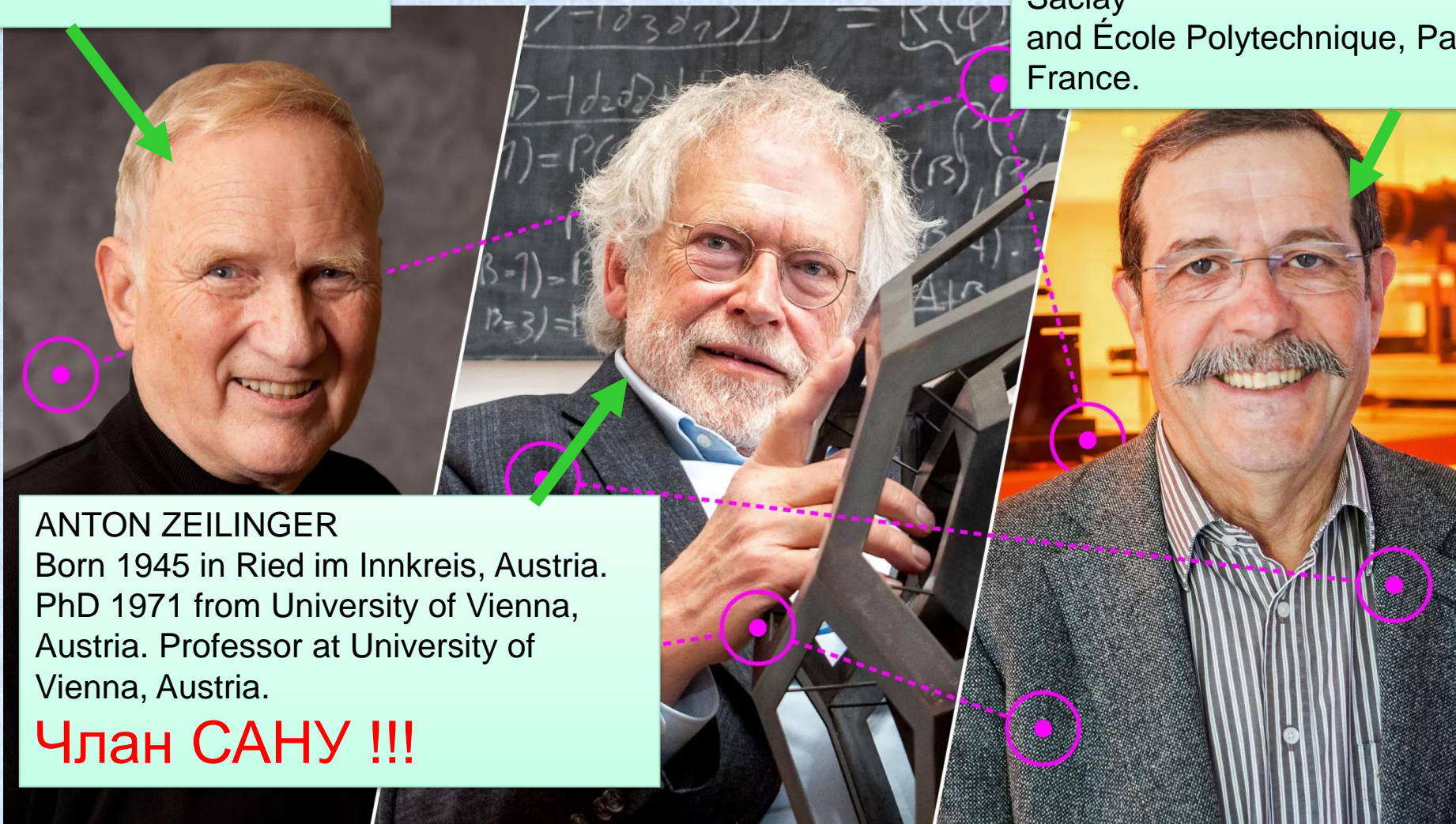
Лова награда 2

JOHN F. CLAUSER

Born 1942 in Pasadena, CA, USA.
PhD 1969 from Columbia University,
New York, USA. Research Physicist,
J.F. Clauser & Assoc., Walnut Creek,
CA, USA.

ALAIN ASPECT

Born 1947 in Agen, France. PhD 1983
from Paris-Sud University, Orsay,
France. Professor at Institut d'Optique
Graduate School – Université Paris-
Saclay
and École Polytechnique, Palaiseau,
France.



ANTON ZEILINGER

Born 1945 in Ried im Innkreis, Austria.
PhD 1971 from University of Vienna,
Austria. Professor at University of
Vienna, Austria.

Члан САНУ !!!

У штампи

Subscribe

Latest Issues

SCIENTIFIC
AMERICAN®

Cart

0

Sign In | Newsletters

SHARE

QUANTUM PHYSICS

The Universe Is Not **Locally Real**, and the Physics Nobel Prize Winners Proved It

Elegant experiments with entangled light have laid bare a profound mystery at the heart of reality

У штампи

Science
THE WIRE



THE SCIENCES

HEALTH

ENVIRONMENT

AEROSPACE

EDUCATION

Advertisement

ACS Campaign for a
Sustainable Future
**ZERO HUNGER
SUMMIT**

75% of soil is degraded.
Can chemistry help?

Free Virtual Event
Dec. 5 – 8, 2022

Sign Up



AdChoices

THE SCIENCES

In the 2022 Physics Nobel Prize, a Test of Your Grip on Reality

У ШТАМПИ



FINANCIAL TIMES

[HOME](#) [WORLD](#) [US](#) [COMPANIES](#) [TECH](#) [MARKETS](#) [CLIMATE](#) [OPINION](#) [WORK & CAREERS](#) [LIFE & ARTS](#) [HTSI](#)

Opinion **Science**

What quantum physics tells us about reality

The new Nobel laureates proved Einstein was not always right

ANJANA AHUJA

+ Add to myFT



У штампи

THE CONVERSATION

Academic rigour, journalistic flair

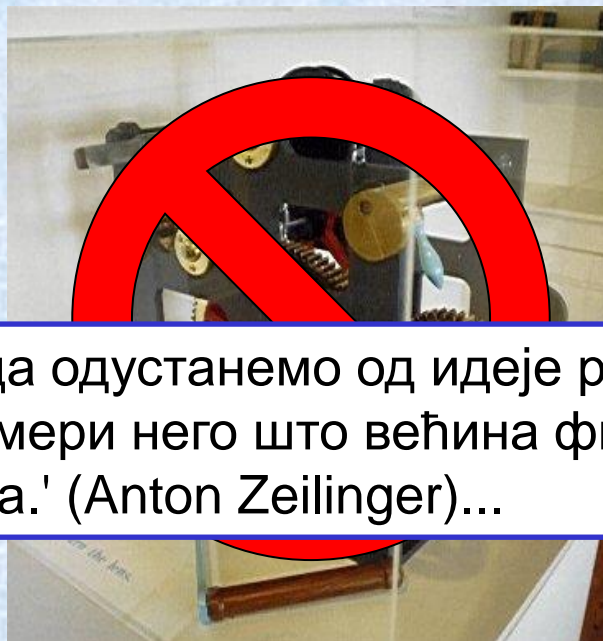


**How philosophy turned into physics – and
reality turned into information**

Published: October 7, 2022 3.46am CEST

Како ово све разумети!?!

Захваљујући нобеловцима, бар знамо шта није одговор!

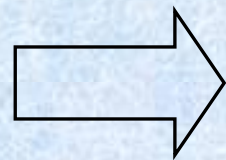


‘Мораћемо да одустанемо од идеје реализма у много већој мери него што већина физичара данас сматра.’ (Anton Zeilinger)...

Крај ере “(локално)механицистичког материјализма”!

...ал' шта јесте!?!

- Шта год је, одговор засигурно мора да буде у неком смислу „уврнут“, нема „здраворазумских“ решења!
- На свака два физичара, три различита мишљења...



“Интерпретације”
квантне физике

Phlogiston

Часопис за историју и филозофију
науке и технологије

Journal for History and Philosophy
of Science and Technology

UDC 001 (091)

31/2023

ISSN 0354-6640

ISSN 2620-1720 (Online)

scientific review
UDC 06.068HOBE/1::53“2022”

Igor Salom¹

University of Belgrade, Institute of Physics, Belgrade

2022 NOBEL PRIZE IN PHYSICS AND THE END OF MECHANISTIC MATERIALISM²

Abstract

The ideas and results that are in the background of the 2022 Nobel Prize in Physics had an immense impact on our understanding of reality. Therefore, it is crucial that these implications also reach the general public and not only the scientists in the related fields of quantum mechanics. The purpose of this review is to attempt to elucidate these revolutionary changes in our worldview that were eventually also acknowledged by the Nobel Committee, and to do it with very few references to mathematical details (which could even be ignored without undermining the take-away essence of the text).

We first look into the foundational disputes between Einstein and Bohr about the nature of quantum mechanics, which culminated in the so-called EPR paradox—the main impetus for all the research that would ensue in this context. Next, we try to explain the statement of the famous Bell's theorem—the theorem that relocated the Einstein-Bohr discussions from the realm of philosophy and metaphysics to the hard-core physics verifiable by experiments (we also give a brief derivation of the theorem's proof). Then we overview the experimental work of the last year's laureates who had the final say about who was right in the debate. The outcome of these experiments forced us to profoundly revise our understanding of the universe. Finally, we discuss in more detail the implications of such outcomes, and what

Physics > General Physics

[Submitted on 11 Aug 2023 (v1), last revised 17 Nov 2023 (this version, v2)]

2022 Nobel Prize in Physics and the End of Mechanistic Materialism

[Igor Salom](#)

The ideas and results that are in the background of the 2022 Nobel Prize in physics had an immense impact on our understanding of reality. Therefore, it is crucial that these implications reach also the general public, not only the scientists in the related fields of quantum mechanics. The purpose of this review is to attempt to elucidate these revolutionary changes in our worldview that were eventually acknowledged also by the Nobel's committee, and to do it with very few references to mathematical details (which could be even ignored without undermining the take-away essence of the text).

We first look into the foundational disputes between Einstein and Bohr about the nature of quantum mechanics, which culminated in the so-called EPR paradox -- the main impetus for all the research that would ensue in this context. Next, we try to explain the statement of the famous Bell's theorem -- the theorem that relocated the Einstein-Bohr discussions from the realm of philosophy and metaphysics to hard-core physics verifiable by experiments (we also give a brief derivation of the theorem's proof). Then we overview the experimental work of the last year's laureates, that had the final say about who was right in the debate. The outcome of these experiments forced us to profoundly revise our understanding of the universe. Finally, we discuss in more detail the implications of such outcomes, and what are the possible ways that our worldviews can be modified to account for the experimental facts. As we will see, the standard mechanist picture of the universe is no longer a viable option, and can be never again. Nowadays, we know this with certainty unusual for physics, that only a strict mathematical theorem could provide.

Access Paper:

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

[view license](#)

Current browse context:

[physics.gen-ph](#)< [prev](#) | [next](#) >[new](#) | [recent](#) | [2308](#)

Change to browse by:

[physics](#)[physics.hist-ph](#)

References & Citations

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

Export BibTeX Citation

Bookmark



Нобелевская премия 2022 года по физике и конец механистического материализма 1 часть: исторический обзор

Игорь Салом

Перевод с английского М. Аркадьева

2022 Nobel Prize in Physics and the End of Mechanistic Materialism

Igor Salom

Institute of Physics, Belgrade

E-mail: isalom@ipb.ac.rs

University, Pregrevica 118, Zemun, Serbia

Флогистон, No 31, p. 169 (2023)

(<https://www.muzejnt.rs/programi-i-desavanja/casopis-flogiston>)

<https://arxiv.org/abs/2308.12297>

Фундаментальные идеи и результаты, отмеченные Нобелевской премией по физике 2022 года, решительным образом меняют общепринятое понимание реальности. Крайне важно, чтобы эти результаты дошли не только до ученых-специалистов, но и до более широкой публики. Целью данного обзора является попытка раскрыть упомянутые революционные изменения в привычном взгляде на мир. Этот радикальный сдвиг в конечном итоге был признан Нобелевским комитетом, и мы попытаемся рассказать об этом с минимальным количеством математических деталей (которые можно игнорировать, не теряя суть вывода).

Сначала мы рассмотрим знаменитую дискуссию между Эйнштейном и Бором о природе квантовой механики, имевшую место в 20-30-х годах XX века. Кульминацией ее стал так называемый ЭПР-парадокс – главный толчок для всех исследований, которые проводились потом в этой области. Далее попытаемся



Хвала на пажњи.

Хвала на пажњи!



Алиса на
Алтаиру

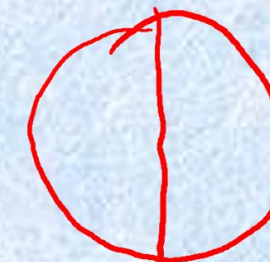
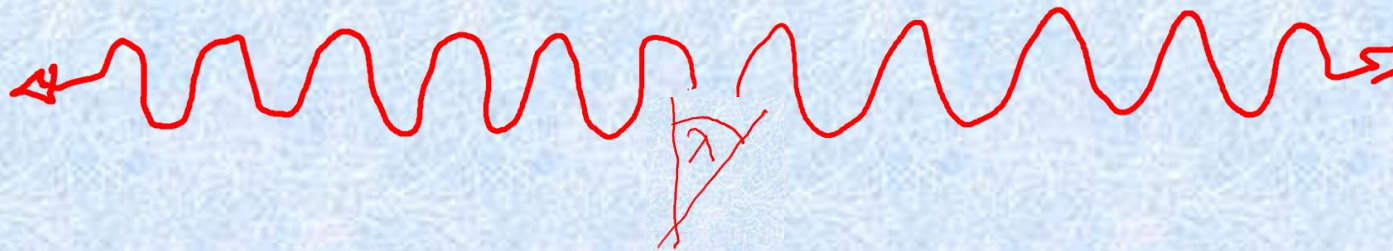
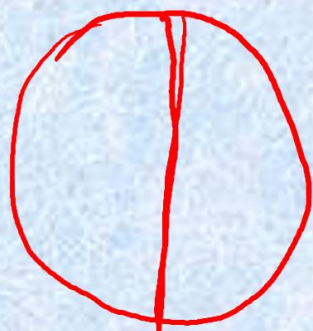


Боб на
Бетелгезу

У чему је уопште проблем?

исте поларизације

$$|\psi\rangle = \frac{(|V\rangle|V\rangle + |H\rangle|H\rangle)}{\sqrt{2}}$$



- Колика је шанса да један прође а други не? Ако назовемо $A = +1$ ако Алисин прође, а $A = -1$ ако њен не прође, и еквивалентно B за Боба, колика је вероватноћа за исход $AB = -1$?
 - Квантна физика каже НУЛА!
 - Ајнштајн каже „зависи од реалне поларизације фотона и од тачних физичких закона, а не знамо ни једно ни друго!“

Белова неједнакост

$A \neq A(\lambda, a, \cancel{k})$
↑
локалност!

$$A = \begin{cases} +1 \\ -1 \end{cases}$$

$$B = \begin{cases} +1 \\ -1 \end{cases}$$

$$E(A \cdot B) = ?$$

$$A = A(\lambda, a)$$

↑ "реална поларизација"
↑ оријентација
↑ Аксиног анализа

$$B = B(\lambda, b)$$

$$E(X) = \int_{\Lambda} X(\lambda) S(\lambda) d\lambda, \quad \int_{\Lambda} S(\lambda) = 1$$

↑
какодего вероватноће
за појуте вредности λ

$$\Rightarrow E(A \cdot B) = E(a, b) = \int_{\Lambda} A(\lambda, a) \cdot B(\lambda, b) S(\lambda) d\lambda$$

Белова неједнакост

Белова неједнакост (CHSH форма):

$$S \stackrel{d}{=} E(a, b) + E(a, b') + E(a', b) - E(a', b') \leq 2$$

Доказ:

$$B(b, \lambda) + B(b', \lambda) = 0 \vee B(b, \lambda) - B(b', \lambda) = 0$$

$$\Rightarrow A(a, \lambda)(B(b, \lambda) + B(b', \lambda)) + A(a', \lambda)(B(b, \lambda) - B(b', \lambda)) \leq 2$$

$$\Rightarrow \int (A(a, \lambda)B(b, \lambda) + A(a, \lambda)B(b', \lambda) + A(a', \lambda)B(b, \lambda) - A(a', \lambda)B(b', \lambda)) \rho(\lambda) d\lambda \leq \int \rho(\lambda) d\lambda = 2$$

$$\Rightarrow S \leq 2 \quad \text{qed.}$$

Како проверавамо ко је у праву?

- За специјални избор углова:

$$a = 45^\circ, a' = 0, b = 22,5^\circ, b' = 67,5^\circ$$

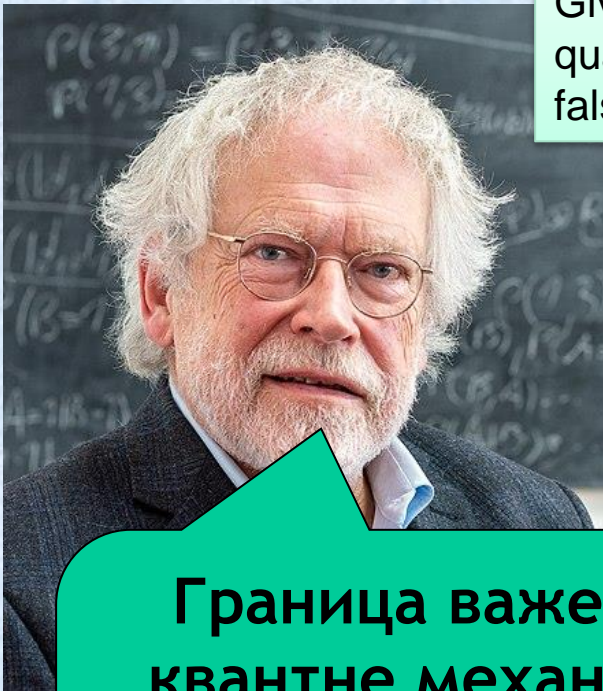
квантна механика предвиђа $S = 2\sqrt{2} > 2$!

- Математичко очекивање, па тиме и вредност S можемо мерити тако што пуштамо пуно парова и правимо статистику!
- Потребан је само вешт експеримент...

И много сличних фасцинантних

Са Википедије:

Given that experimental tests of Bell's inequalities have ruled out local realism in quantum mechanics, the violation of Leggett's inequalities is considered to have falsified realism in quantum mechanics.



Граница важења квантне механике зависи само од тога колико ми пара дате за експеримент!

- Корекцијом: нарушенио Логетове

**Нема грешке!
Ајнштајн је био у криву,
наш универзум сигурно
није „локално-
реалистичан“.**

НЕМА НАЗАД!

ацију квантне
лемент-а,
ге за квантну
комуникацију, криптографију, рачунарство...