



ЗАДУЖБИНА ИЛИЈЕ М. КОЛАРЦА
основана 1878.
ЦЕНТАР ЗА ПРЕДАВАЧКУ ДЕЛАТНОСТ



Циклус предавања

КВАНТНА ГРАВИТАЦИЈА – СВЕТИ ГРАЛ САВРЕМЕНЕ ФИЗИКЕ

1. Зашто квантна механика

Др Игор Салом

26. септембар 2023. у 18.00

2. Зашто општа релативност

Др Данијел Обрић

3. октобар 2023. у 18.00

3. Зашто теорија поља

Др Бојан Николић

10. октобар 2023. у 18.00

4. Зашто поља у кривом простору

Др Марко Војиновић

17. октобар 2023. у 18.00

5. Зашто квантна гравитација

Др Тијана Раденковић

24. октобар 2023. у 18.00

Мала сала Коларчеве задужбине

Циклус је реализован у сарадњи са пројектом

„Квантна гравитација из виших гејџ теорија“

(QGHG-2021), број 7745968 програма ИДЕЈЕ Фонда за науку

тел. 2637-609, 2638-472; факс: 3031-711
www.kolarac.rs; e-mail: predavanja@kolarac.rs

Програме подржавају Секретаријат за културу Скупштине града Београда
и Министарство за науку Републике Србије

Шта је уопште фалило класичној физици?

Арогантност са краја XIX века:



Алберт Мајкелсон

- А. Мајкелсон (1899): „Сви важнији закони и принципи физике су већ откривени, и тако су чврсто установљени, да је изузетно мала шанса да би они икад могли бити превазиђени услед некаквих нових открића.“
- Наводно Лорд Келвин: „Више није преостало ништа ново да се открије у физици. Преостало је само вршити све прецизније и прецизније експерименте.“
- Роберта Миликана задиркивали (1894) што се држи „завршене“ и „мртве“ науке као што је то физика.
- Филип фон Жоли, свом студенту Макс Планку (1878) саветује да не одабира физику, јер: „у овој области, скоро све је већ откривено, а преостало је само да се попуни пар безначајних рупа.“

„...пар безначајних рупа“

- Ђаво је у детаљима:

- Негативан резултат Мајкелсон-Морли експеримента

Алберт Ајнштајн

→ СПЕЦИЈАЛНА ТЕОРИЈА
РЕЛАТИВИТЕТА

- Ултраљубичаста катастрофа

Макс Планк

- Фотоелектрични ефекат

Алберт Ајнштајн

} КВАНТНА МЕХАНИКА

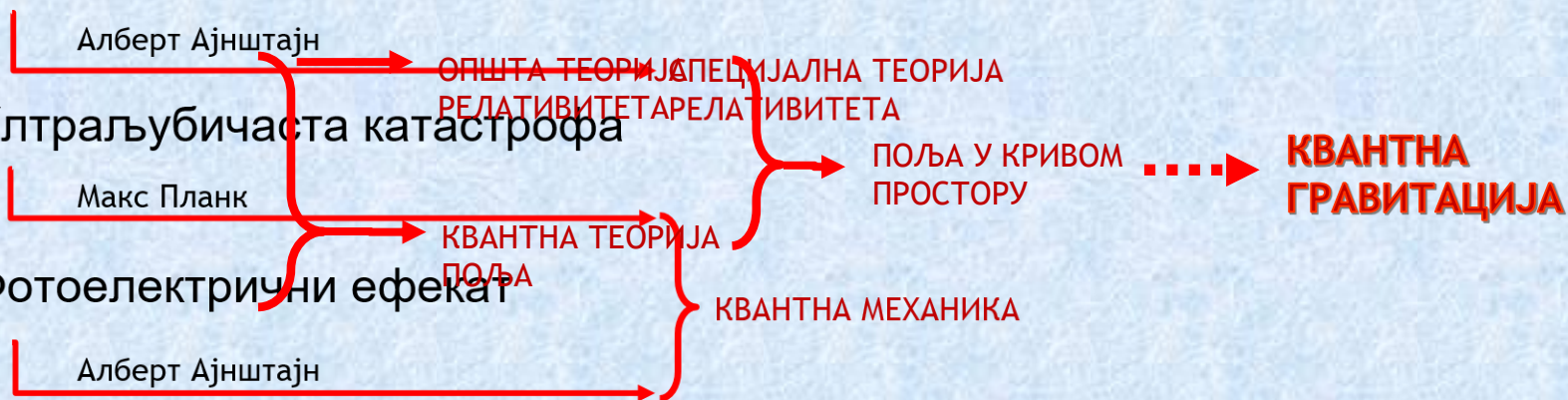
„...пар безначајних рупа“

- Ђаво је у детаљима:

- Негативан резултат Мајкелсон-Морли експеримента

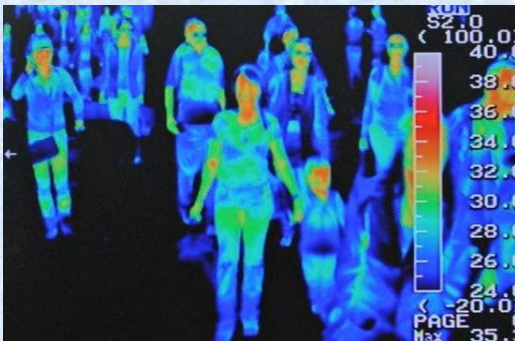
- Ултраљубичаста катастрофа

- Фотоелектрични ефекат



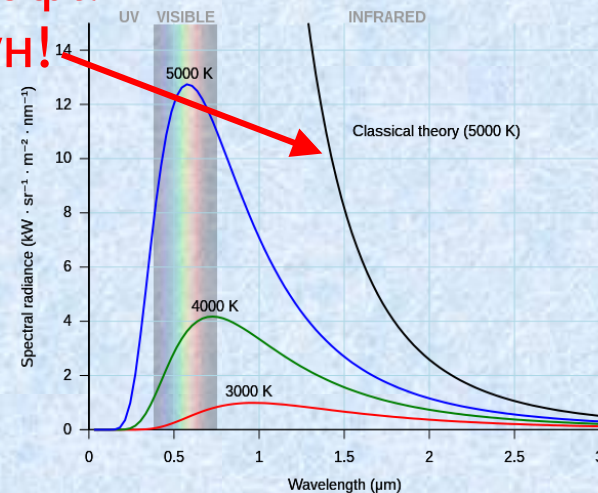
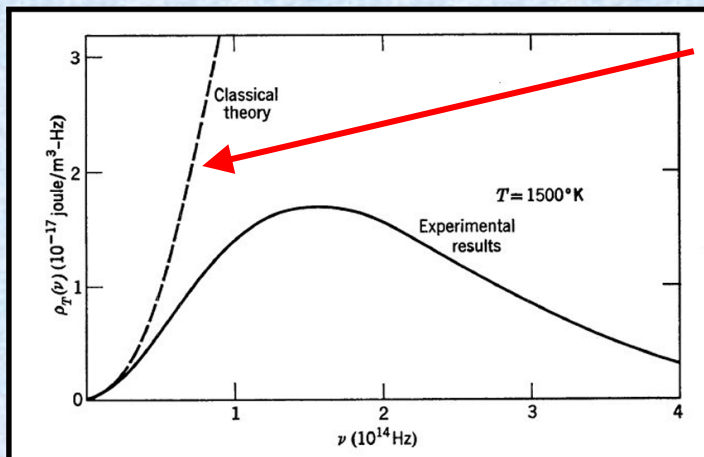
Ултраљубичаста катастрофа

- Сви предмети зраче



- само је питање колико?

Катастрофа прорачун!

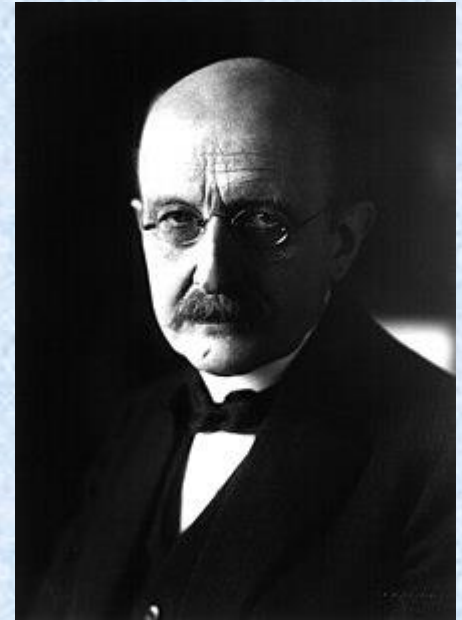


Решење: Планкова константа

- Макс Планк (1900): проблем је решен ако предмети могу да емитују и апсорбују енергију само у комадићима пропорционалним фреквенцији!?

$$E = h\nu \quad h = 6.626\,070\,15 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{Hz}^{-1}$$

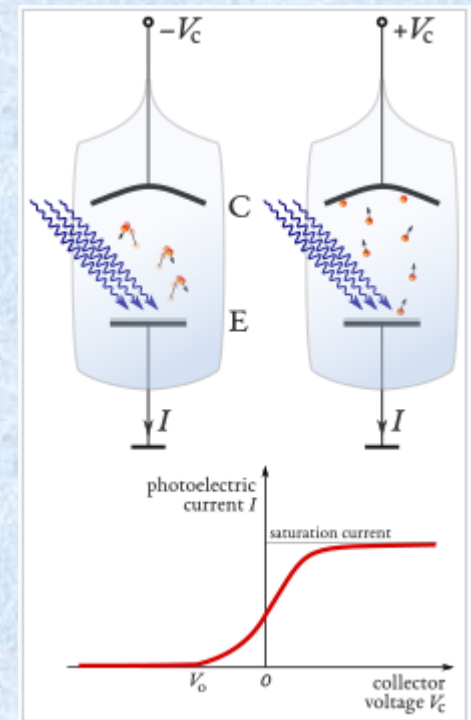
- Убрзо је почела да се користи реч „квант“ (*quantus* = колико, количина) - рођење квантне механике
- За Планка је ово била „чисто формална претпоставка... заправо, нисам пуно размишљао о њој.“



Макс Планк

Фотоелектрични ефекат

- Светлост која пада на метал избија електроне и доводи до појаве струје
- Мистерија: зашто то не може светлост ниске фреквенције, колико год да је јака?!

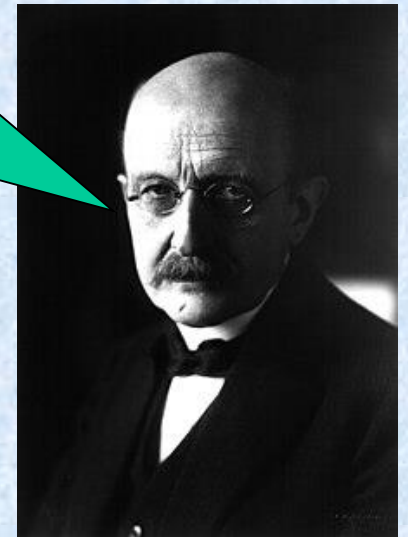
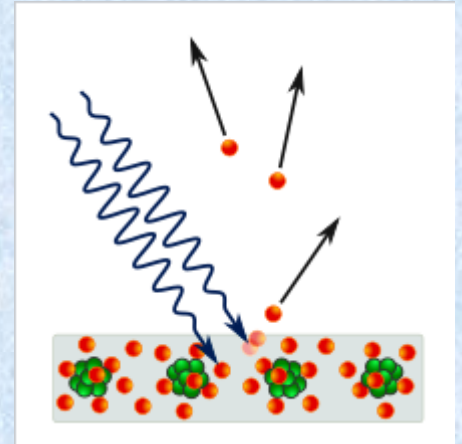


Решење: „фотони“

- Ајнштајн (1905): мистерије нема, ако светлост не само да се

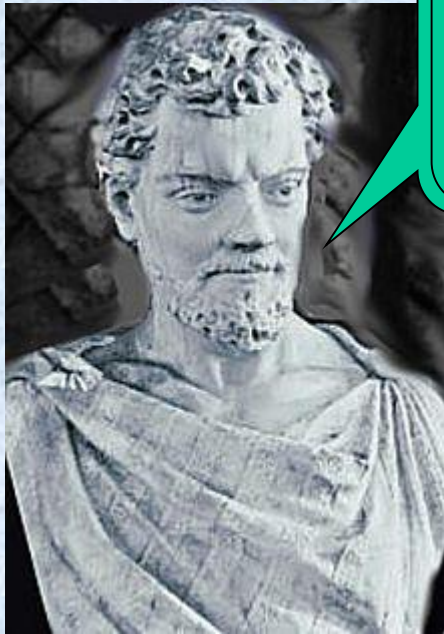
“Теорија светлости би била уназађена не деценијама, већ вековима, до времена када се Хајгенс усудио да се супротстави моћном Њутну и његовој емисионој теорији!”

Планк не верује све до 1911:



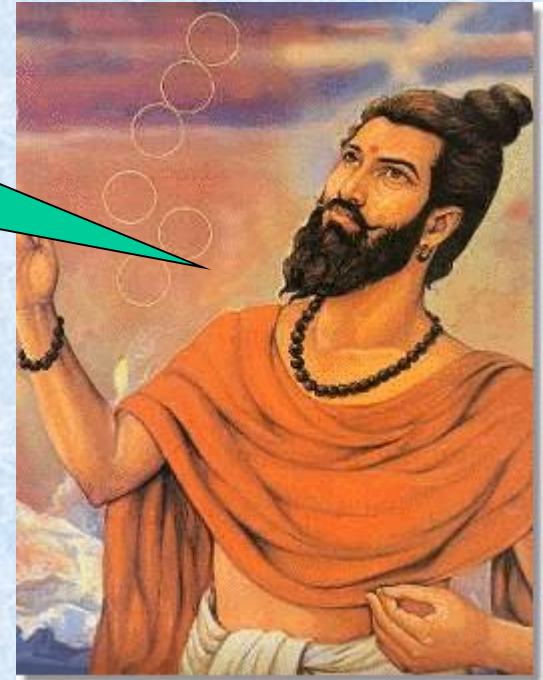
Светлост – честица или талас?

ЧЕСТИЦА!

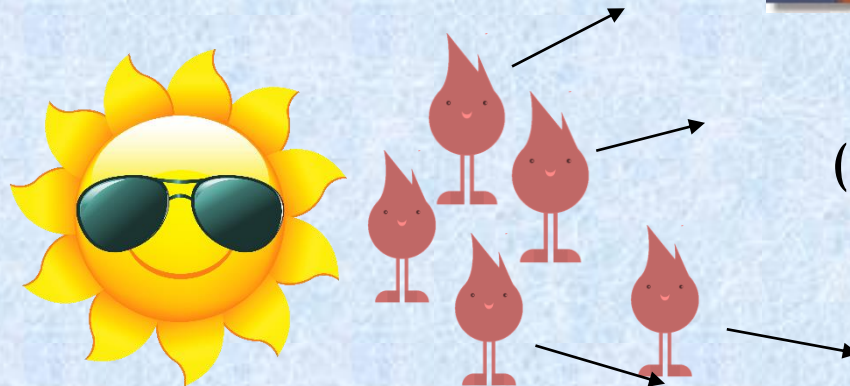


Лукреције Кар
(Рим, I век п.н.е)

- Светлост и топлота Сунца, ови се састоје од сићушних атома
- Струја атома ватре (*tejas*)



Ваишешика
(школа Хиндуизма)



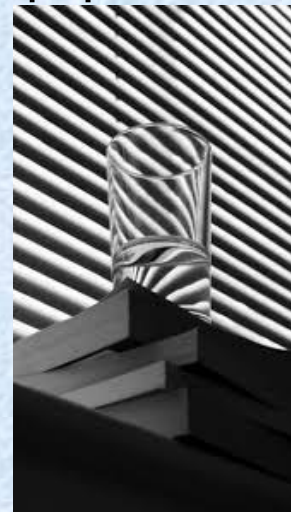
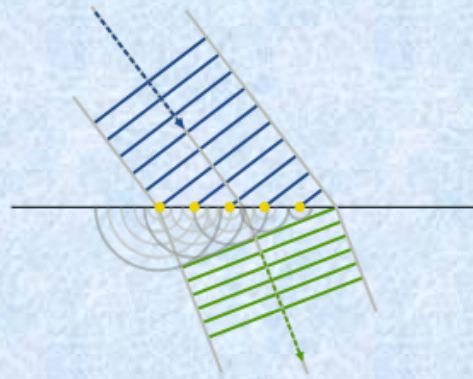
Светлост – честица или талас?

ТАЛАС!



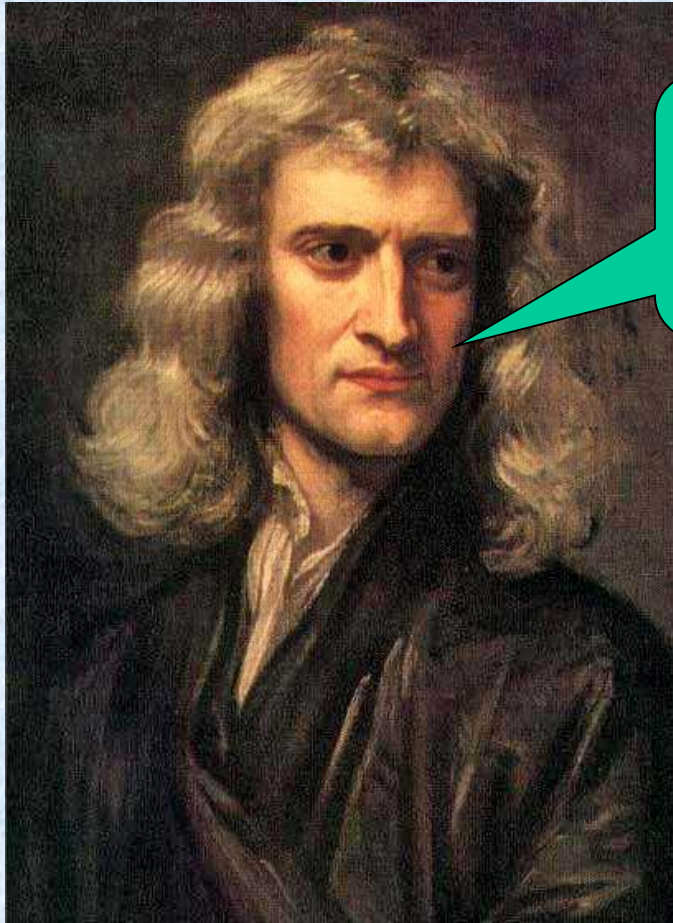
Роберт Хук
(средина XVII века)

- Хајгенсов принцип
- Објаснили преламање
- Светлост слична таласима на води
- Таласи су трансферзални



Кристијан Хајгенс
(крај XVII века)

Светлост – честица или талас?

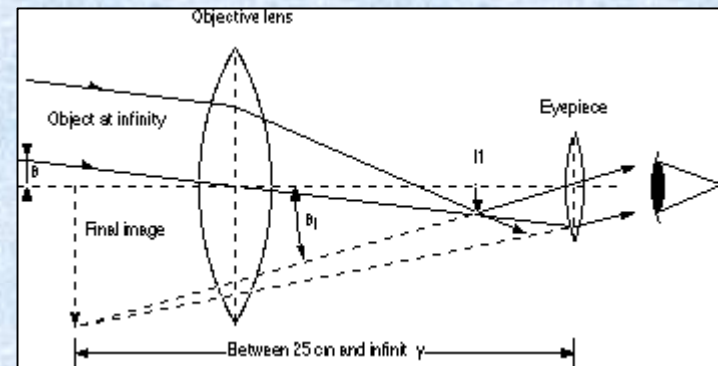


Исак Њутн

(крај XVII и почетак XVIII века)

ЧЕСТИЦА!!!

- Геометријска оптика
- Хипотезом о различитим масама честица различитих боја, и површинским силама, квалитативно објашњавао и неке таласне феномене

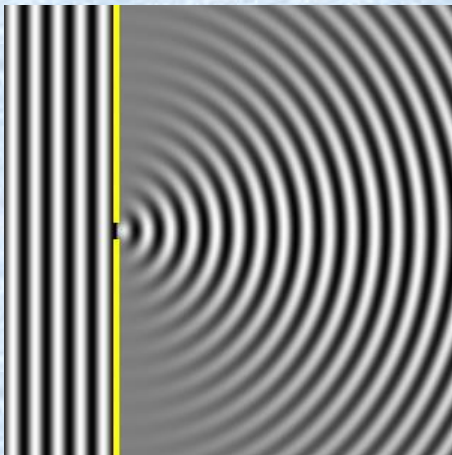


Светлост – честица или талас?

**Ипак
ТАЛАС!**

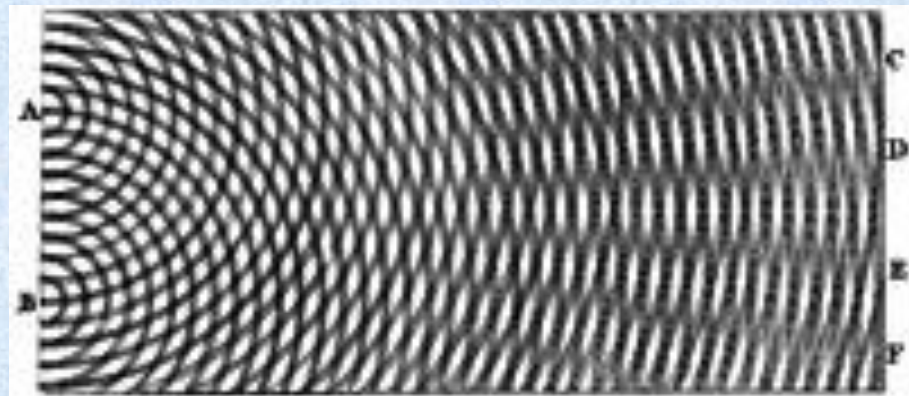


Томас Јунг, 1807.

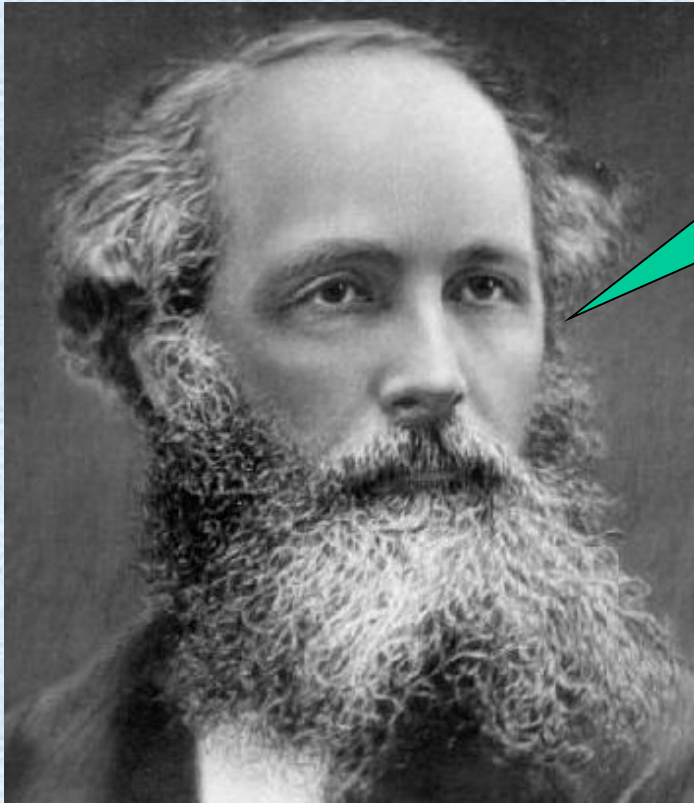


Августин-Жан
Френел, 1817.

- Јунгов екперимент на два прореза демонстрира интерференцију
- Френел побеђује у такмичењу француске академије, објашњава боје, поларизацију



Светлост – честица или талас?



Џејмс Максвел, 1873.

ТАЛАС, и нема више дискусије!

- Максвелове једначине све објашњавају
- Светлост је трансферзални е.м. талас у (светлосном) етру

$$\begin{aligned}\nabla \cdot \vec{E} &= \frac{\rho}{\epsilon_0} \\ \nabla \cdot \vec{B} &= 0 \\ \nabla \times \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \nabla \times \vec{B} &= \mu_0 \vec{J} + \frac{1}{c^2} \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}\end{aligned} \quad \rightarrow \quad c_0 = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 3 \cdot 10^8 \text{ [m/s]}$$

Ал сад испада, све ипак честичне пр

- Не, то је ипак немогуће, честично дефинитивно не може да објасни
- Неминовни закључак: светлост се некад понаша као честица, а некад као талас!

Шта сад па ово значи? Па кад ће које да испољи?!?



Нилс
Бор

Светлост ће некад испољити честичне а некад таласне особине, никад обе одједном. Ове две природе су *комплементарне*.

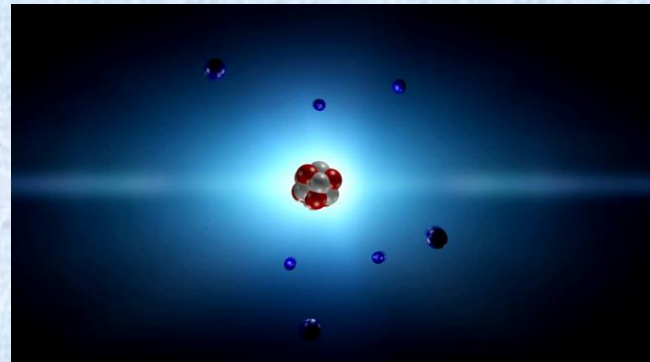
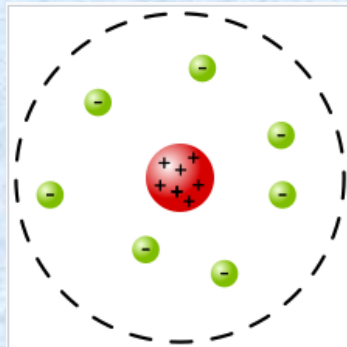
То зависи од тога како поставимо експеримент. Причати о особинама објеката независно од мерења није могуће!

Авај, проблем и са атомима!

- Томсон (1904) - електрони су као шљиве у пудингу:

Но, опет катастрофа: рачун показује да би електрони пали на језгро после 16 пикосекунди!!!

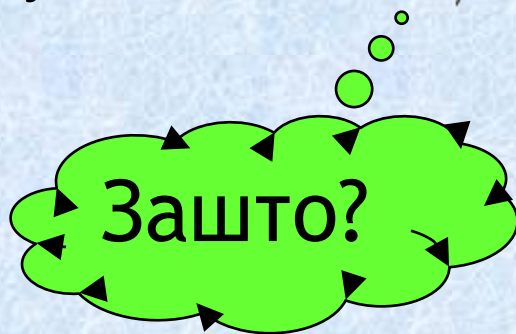
- Радерфорд (1908-1913): Неће бити, позитивно наелектрисање је, испада, само тачкица у центру!?



Решење: Боров модел

Нилс Бор (1913):

- Енергије орбита су „квантоване“ (нису континуалне), и на њима су електрони стабилни и не поштују класичне законе
- Могу само да „скачу“ с нивоа на ниво
- Угаони моменат може бити само целобројни умножак $\hbar = h/2\pi$



Појма немам,
ал супер ради!



Светлост није једина необична...

Можда светлост уопште није посебна?! Ако е.м. талас може да буде и честица, можда и честична материја може да буде талас?

- Таласна дужина: $\lambda = h/p$
- Објаснио Боров модел атома преко стојећих таласа електрона
- Сва материја може да се понаша као талас: и електрон, и атом, и билијарска кугла, и аутомобил - само што су таласне дужине мале

Планкова
константа $6.62 \times 10^{-34} \text{ m}^2 \text{ kg/s}$



ДАКЛЕ, ТАЛАСИ
МАТЕРИЈЕ?!?

...НО, није баш тако

Значи таласа се вероватноћа?! Ма дајте молим вас?!

- Питер Дебај: „Да бисмо радили треба, потребна нам је таласна функција“

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(\mathbf{r}, t) = \left[\frac{-\hbar^2}{2\mu} \nabla^2 + V(\mathbf{r}, t) \right] \Psi(\mathbf{r}, t)$$

Сјајно
шта

Нема друге, $|\Psi|^2$ је густина вероватноће налажења честице!

То ми се не свиђа, и жао ми је што сам имао икакве везе са овим!

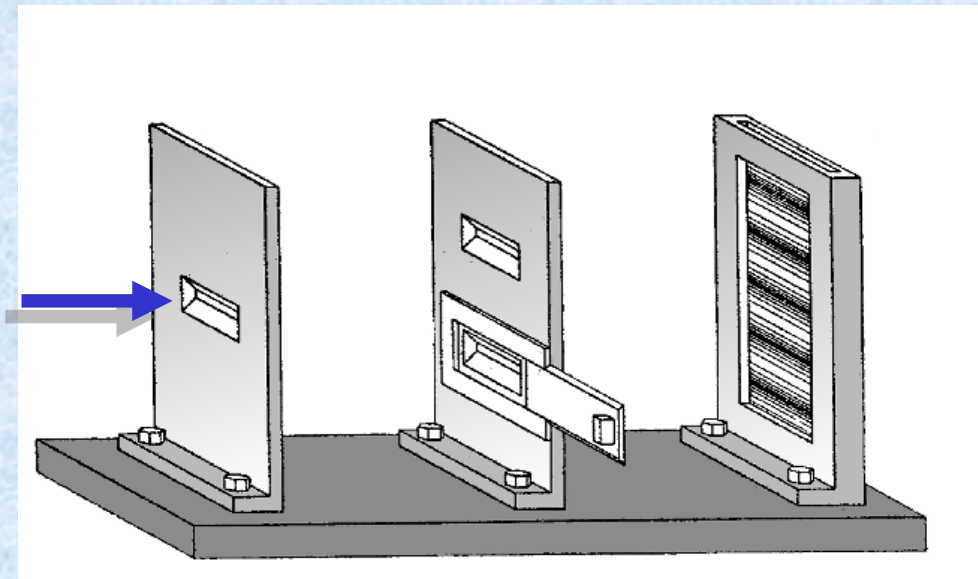


Ервин Шредингер



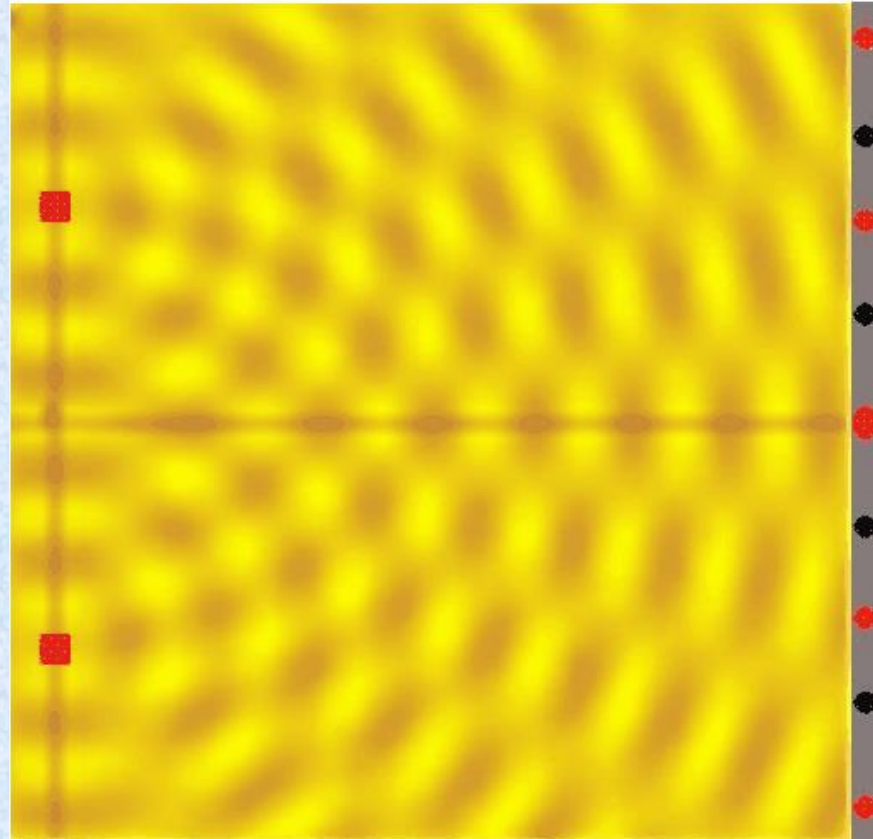
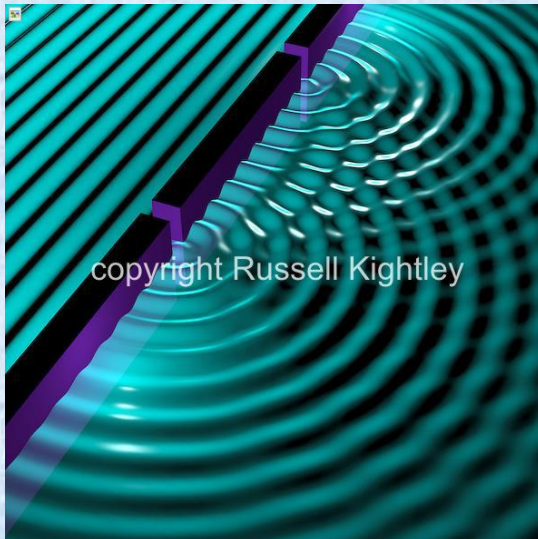
Макс Борн

“Double-Slit” експеримент

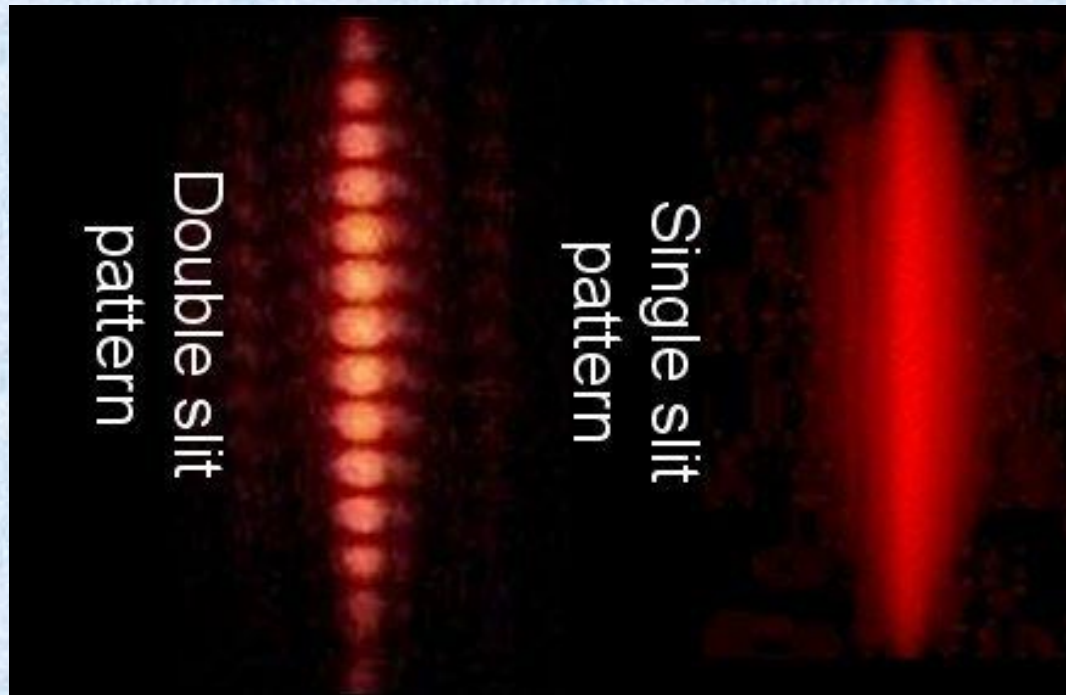


Фајнман: експеримент са два прореза „је феномен који је немогуће објаснити на било који класичан начин и који садржи у себи суштину квантне механике. Заправо, он садржи једину (кључну) мистерију квантне механике.”

Интерференција таласа

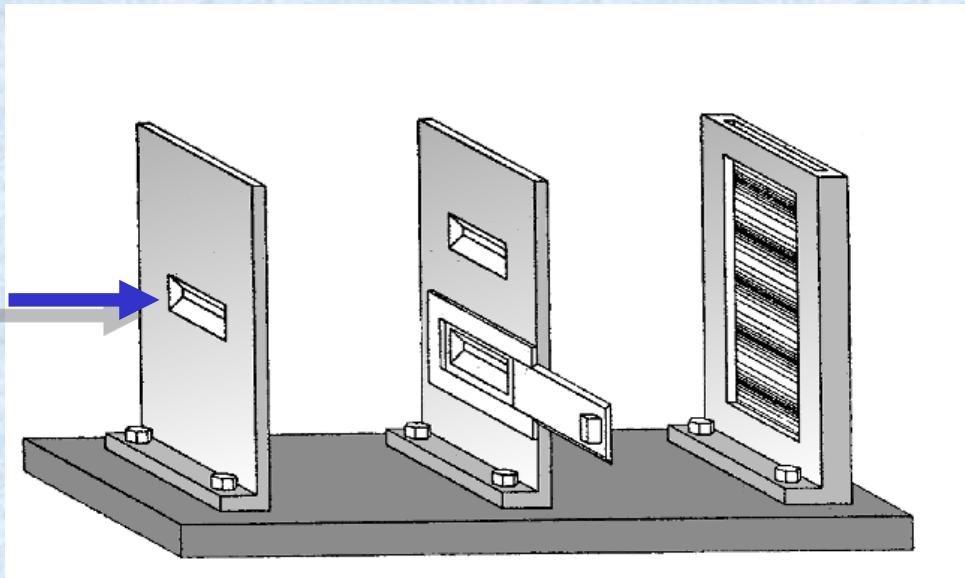


...у стварности то изгледа
нпр. овако са светлошћу:



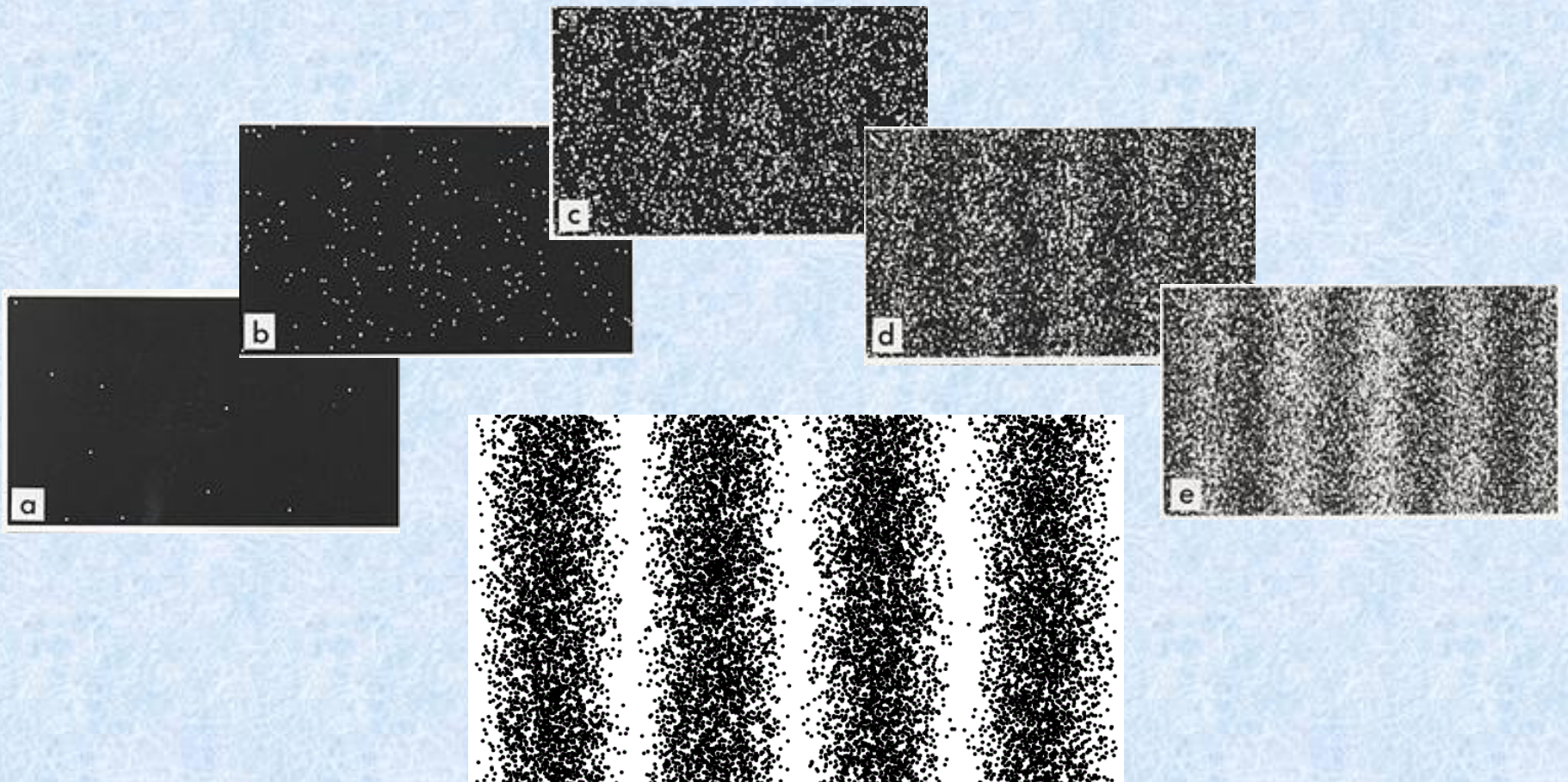
“Double-Slit” експеримент

електрони →



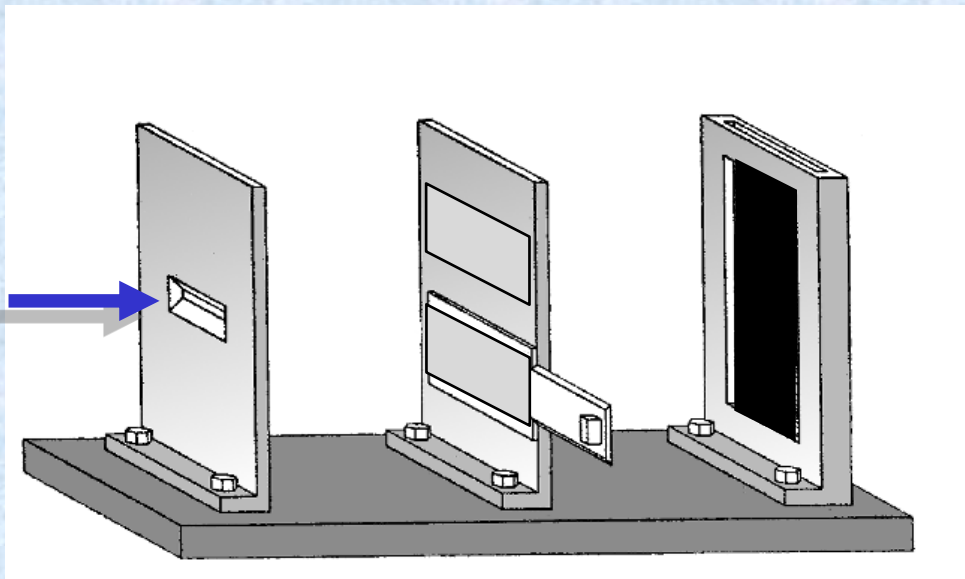
Да ли се можда
одбијају некако
један од другог?

Један по један електрон



“Double-Slit” експеримент

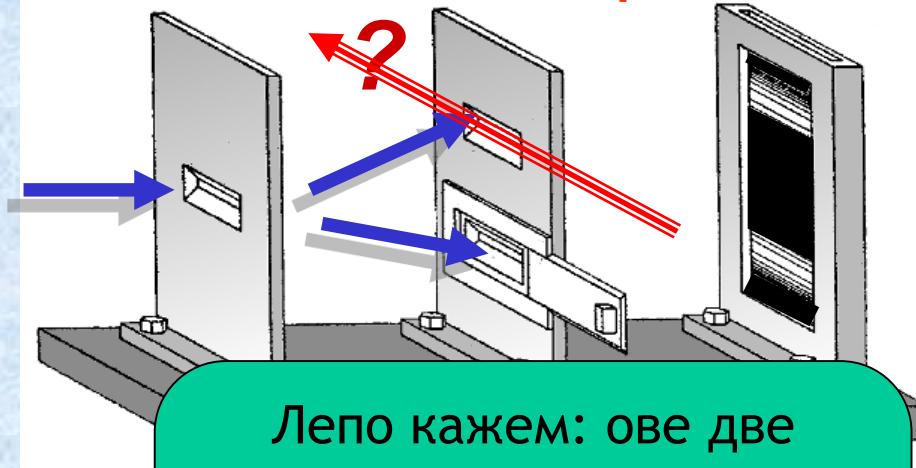
електрони →



Их, баш зна да ли га
посматрамо, сигурно
смо га пореметили
детектором!

Експеримент

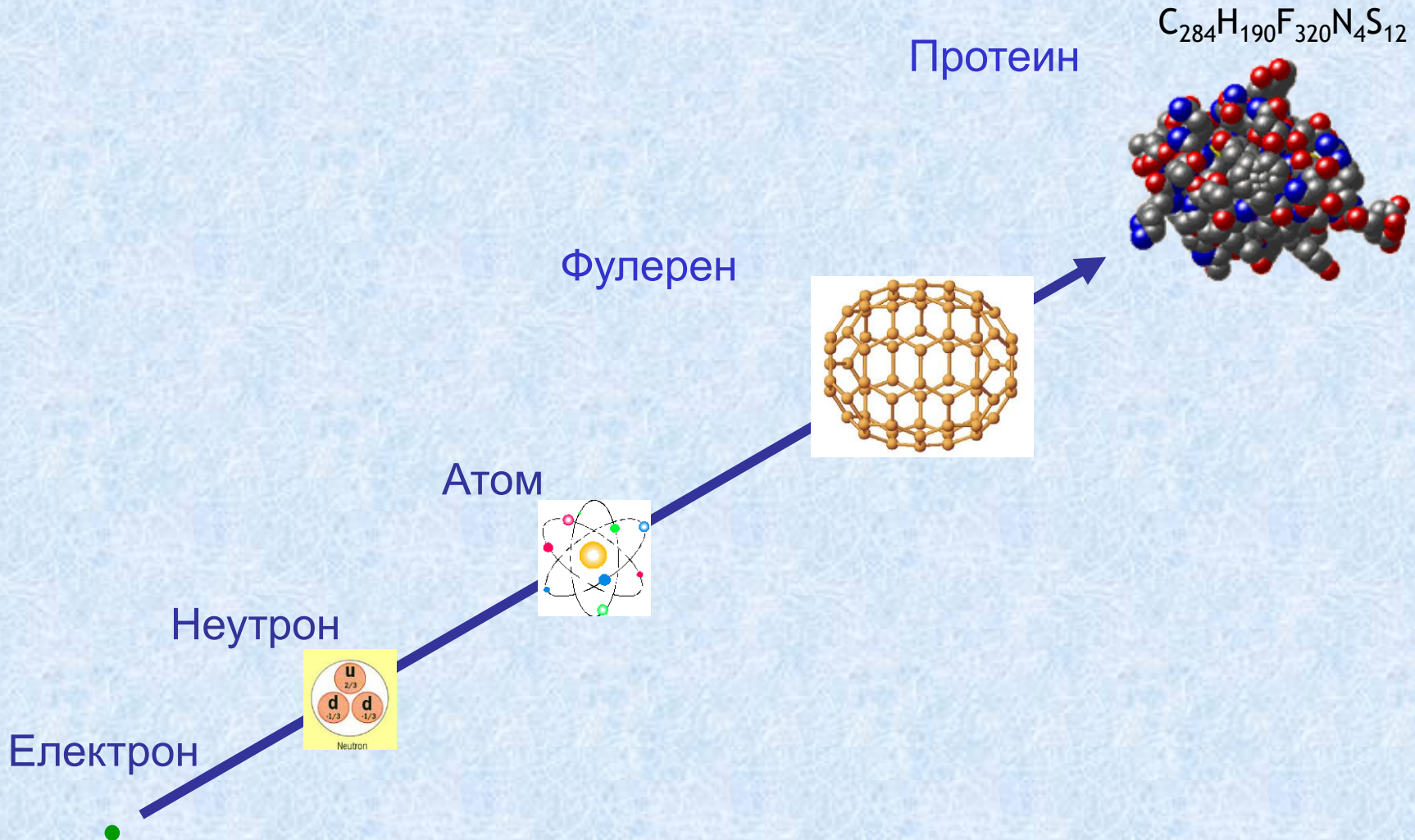
Како електрон зна да ли га
посматрамо и шта ми знамо!?



Лепо кажем: ове две
природе су
комплементарне - или
можемо знати путању или
видети интерференцију,
не оба.

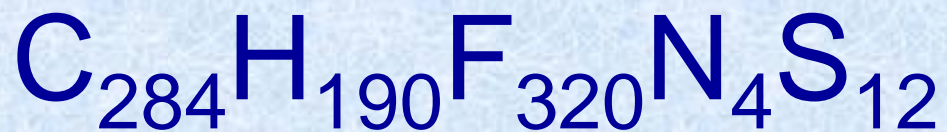


Докле можемо ићи?

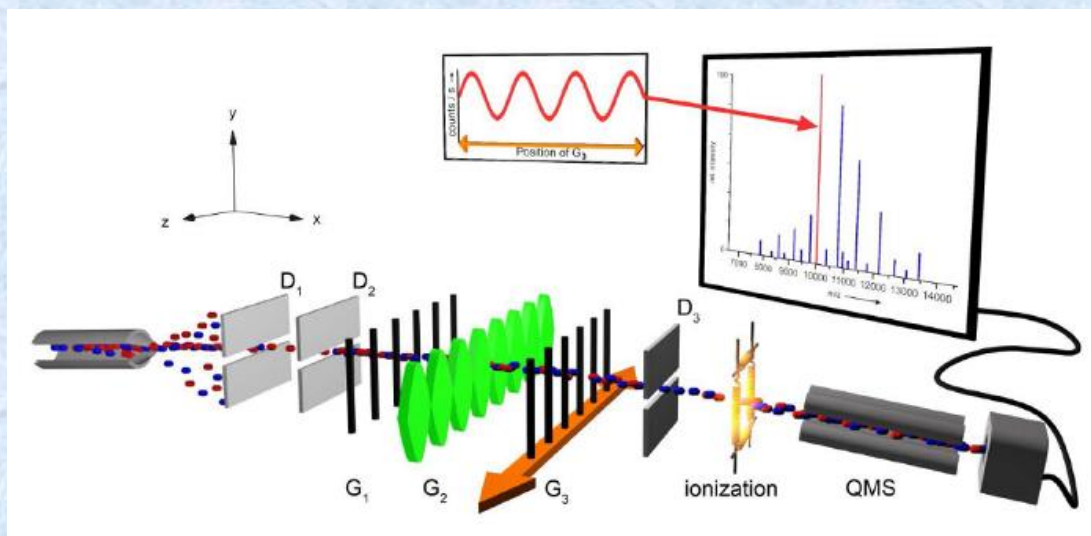


Светски рекорд:

(Vienna Group, 2013.)

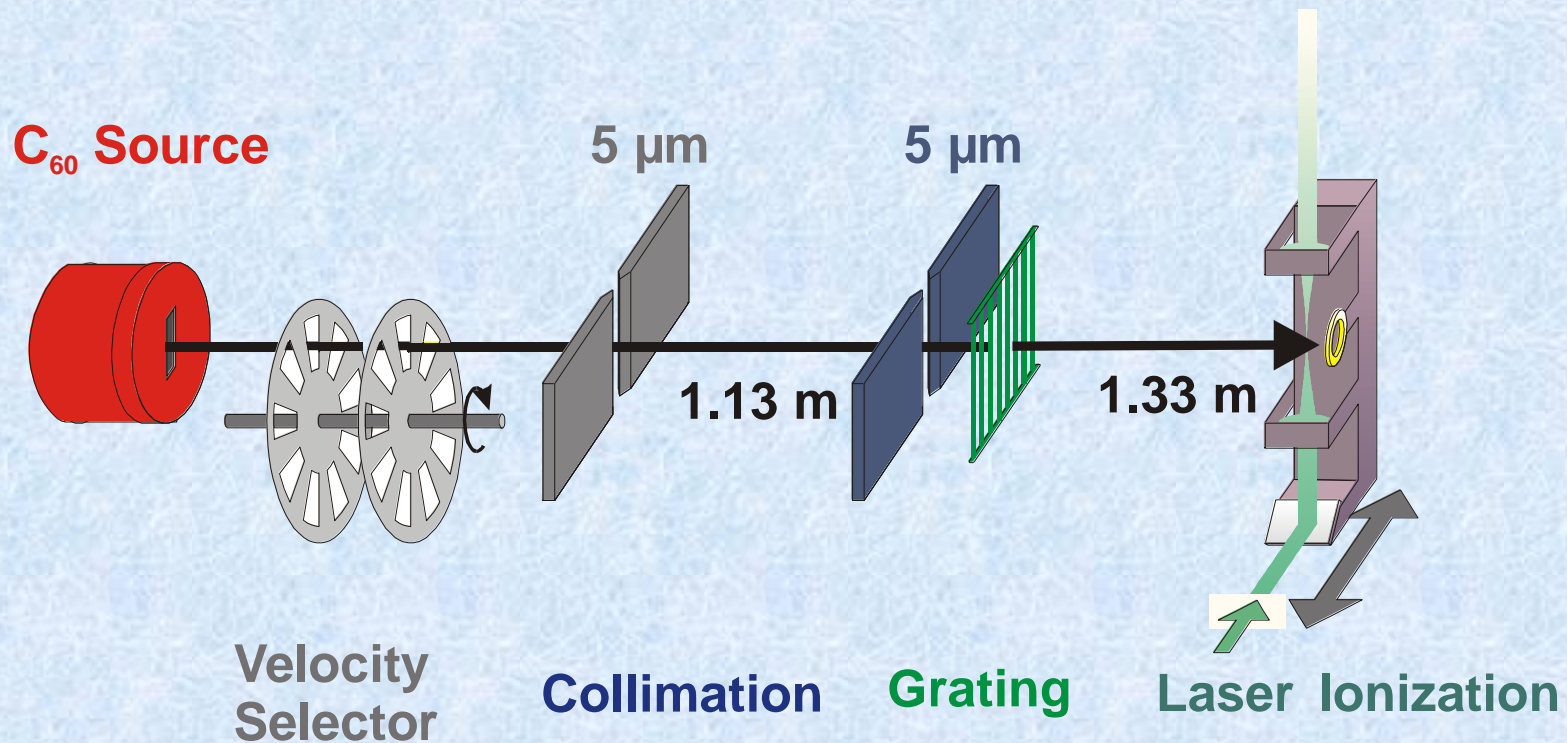


- Маса преко **10.000** атомских јединица!
- **810** атома у једном молекулу!



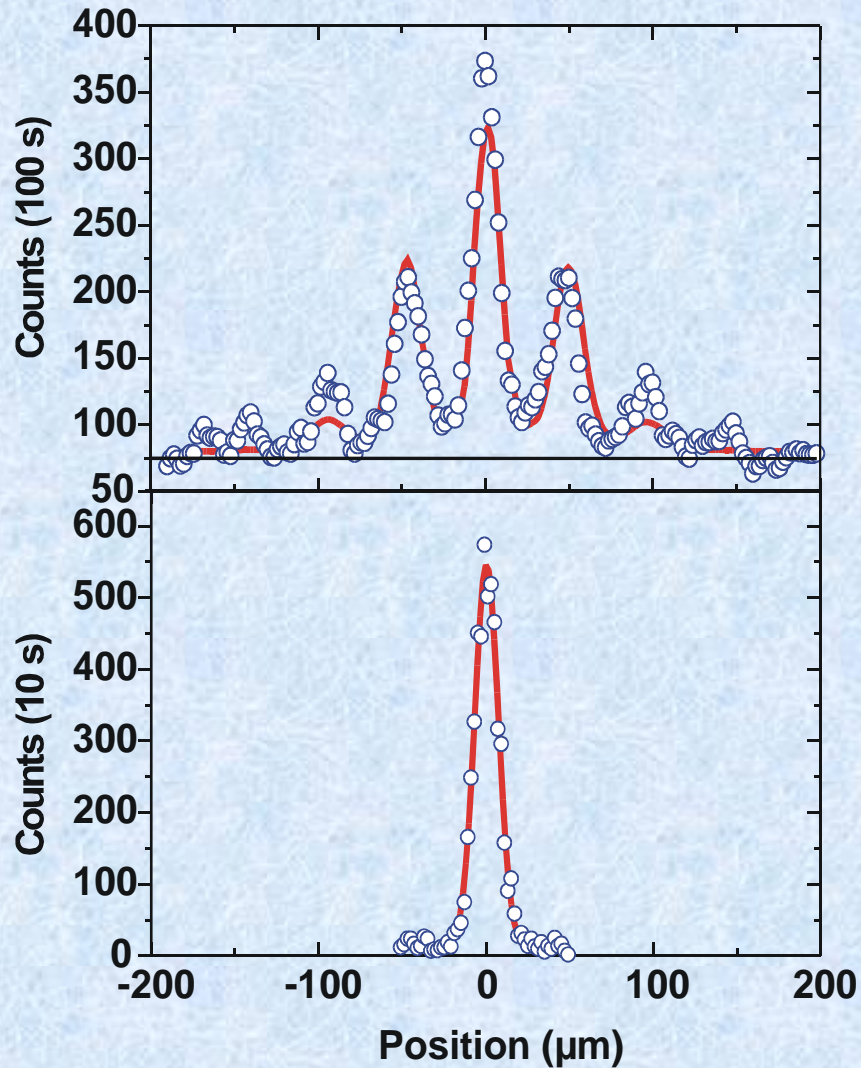
Дифракција Фулерена

Arndt *et al.*, 1999

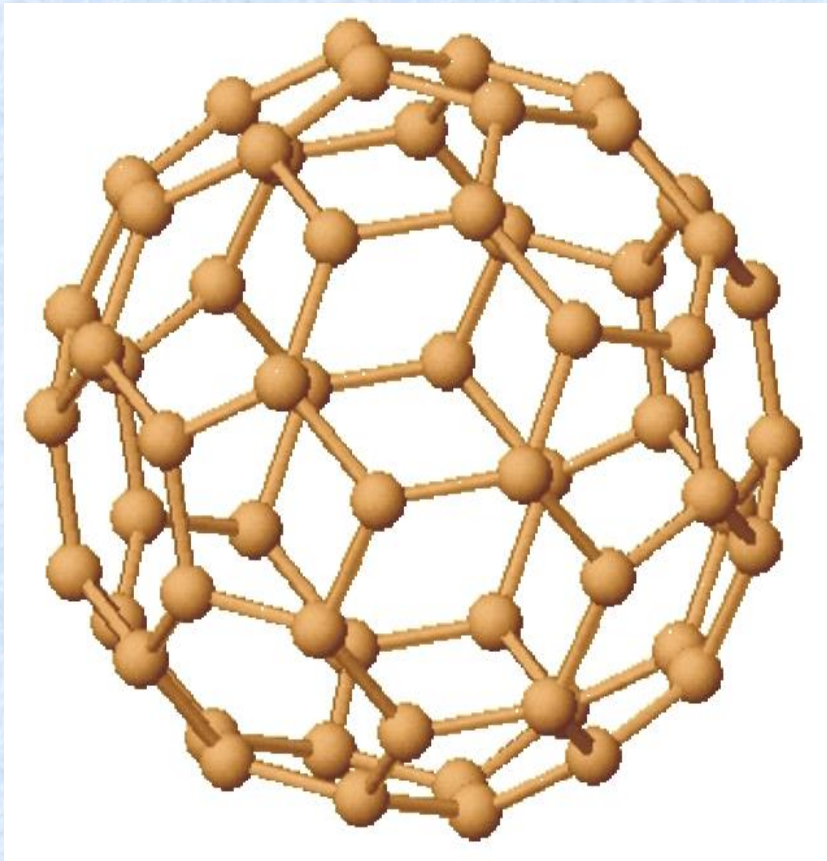


Интерференција фулерена

velocity selected C_{60}



Величина



$$\lambda_{\text{dB}} \approx 3 \times 10^{-12} \text{ m}$$

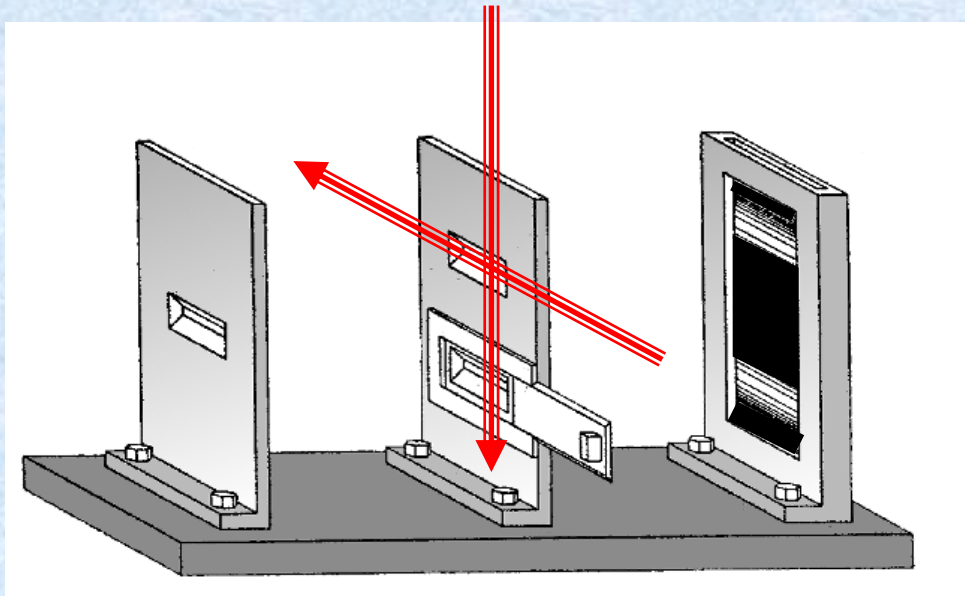
Пречник:
 $C_{60} \approx 10^{-9} \text{ m}$

$$\lambda_{\text{dB}} \ll D$$

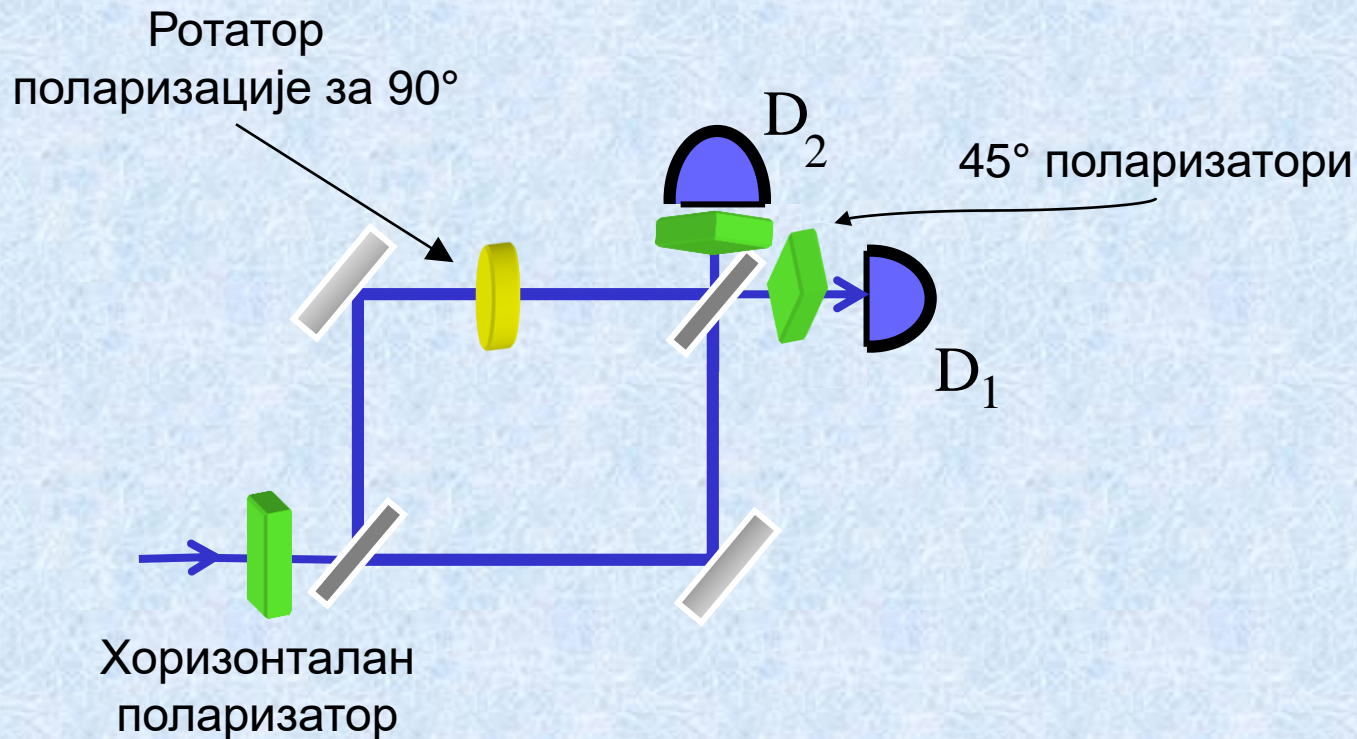


λ_{dB}

Честица зна и физику



Квантни брисач



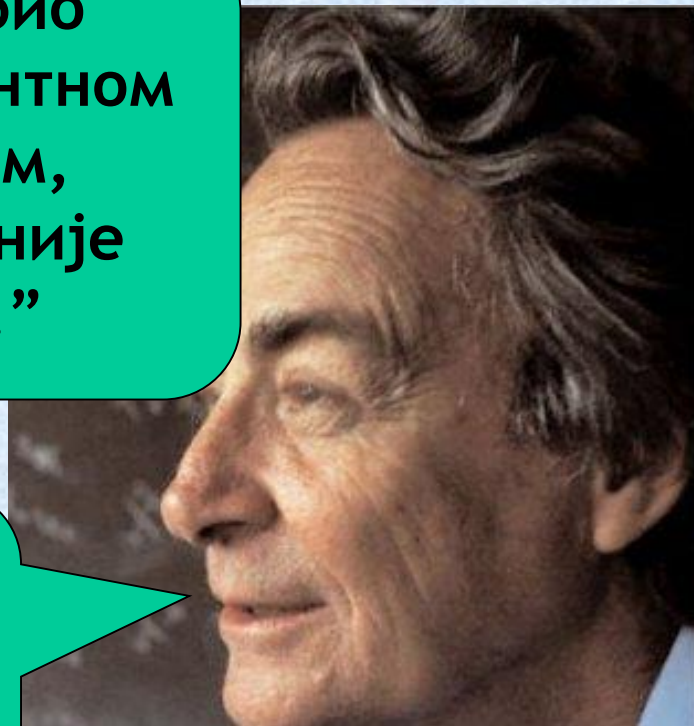
Поларизатори под 45° бришу било какву информацију о путу којим је честица дошла

Квантни шок



Нилс Бор

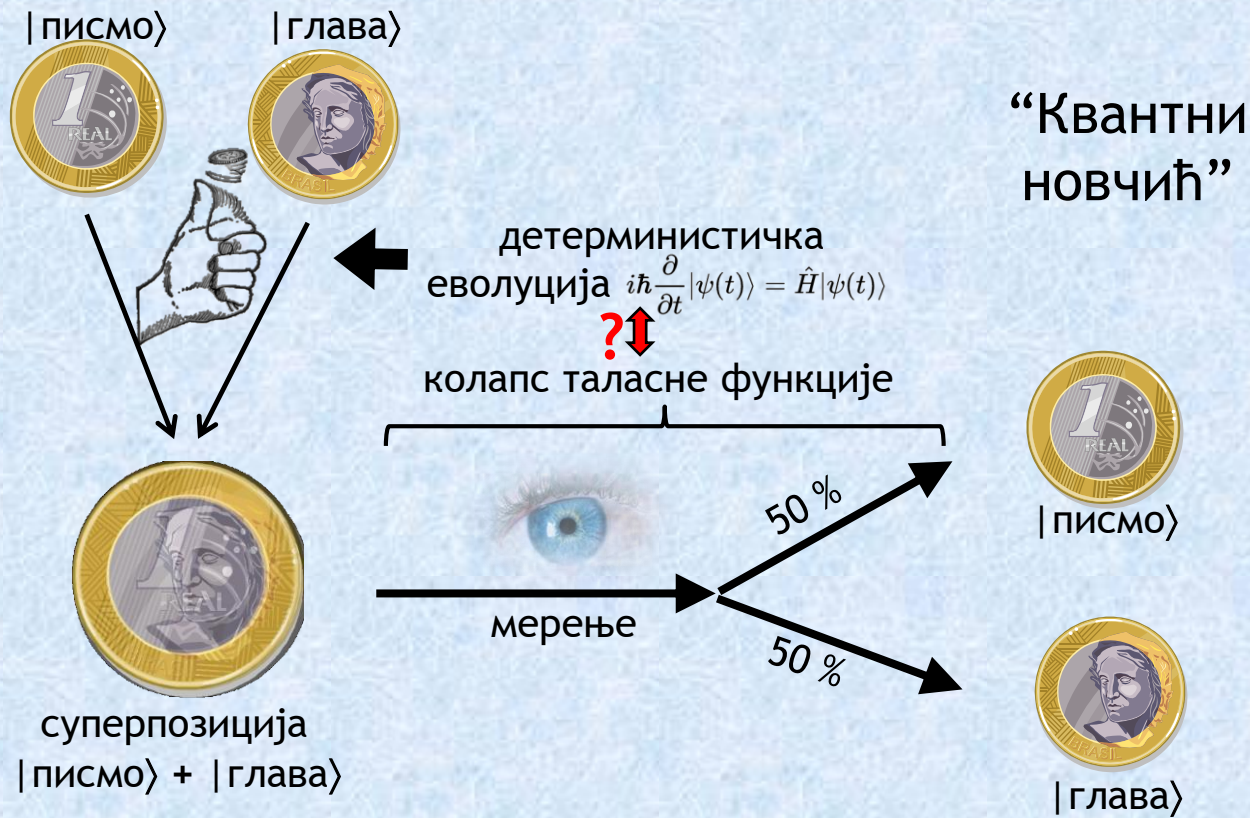
“Ко није био
запањен квантном
механиком,
сигурно је није
разумео!”



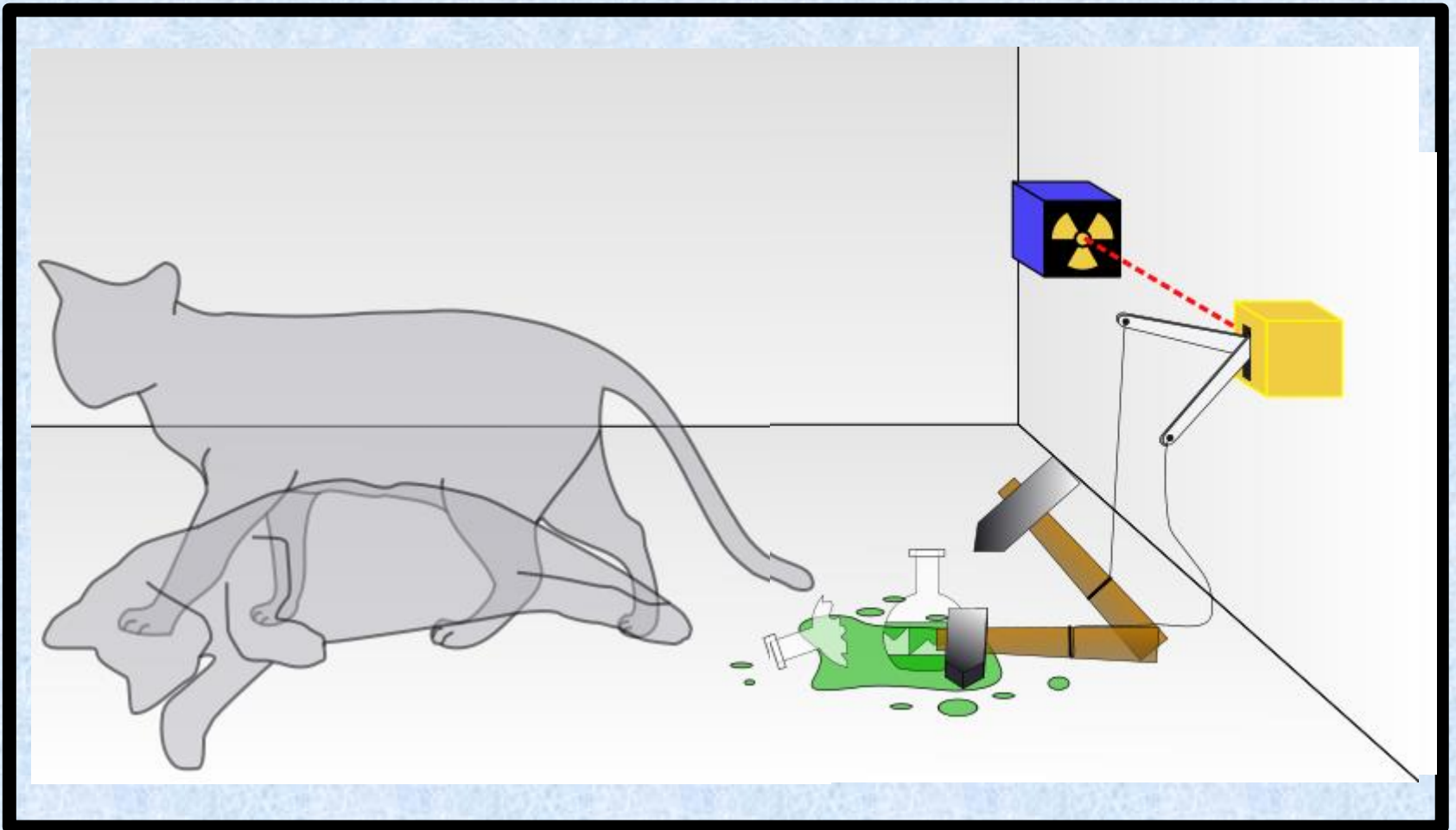
Ричард
Фајман

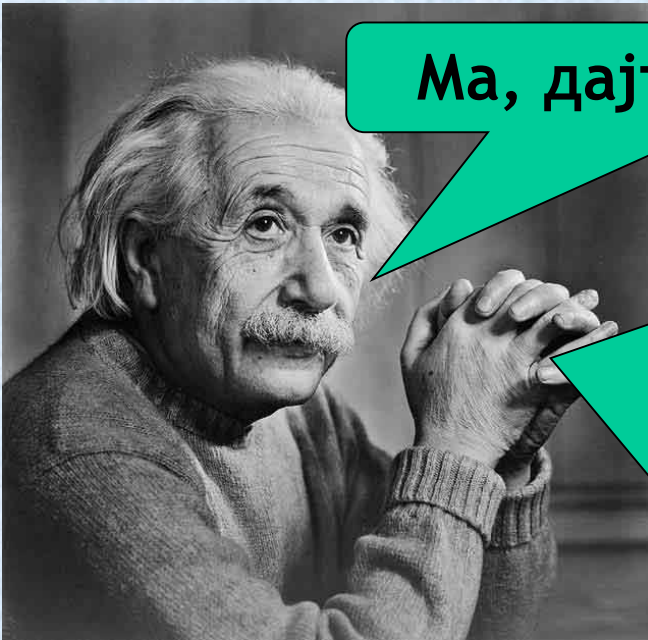
“Мислим да
безбедно могу
рећи да нико не
разуме квантну
физику.”

Па шта то тврди квантна физика?



Шредингера мачка





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



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

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.

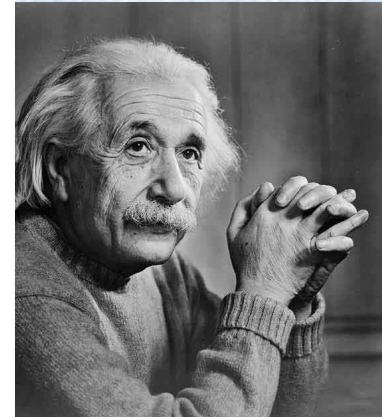
1.

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



Белова теорема



Џон Бел (1964)

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

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

Нобелова награда 2022.



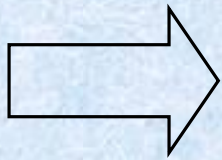
Ц
Клауз

ан
пе

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

НЕМА НАЗАД!

...ОК, али шта све ово онда
заправо значи?



“Интерпретације”
квантне физике

Ако не знамо шта јесте, бар
знамо шта није!



Крај ере “механицистичког материјализма”!



Хвала на пажњи.