

# Dž. A. Vīlera domu eksperimenti un to realizācijas

Dainis Zeps

Zinātnes un Reliģijas Dialoga grupas

Seminārs

2018. 26. janvāris

# Kvantu mehānika un eksperiments tajā

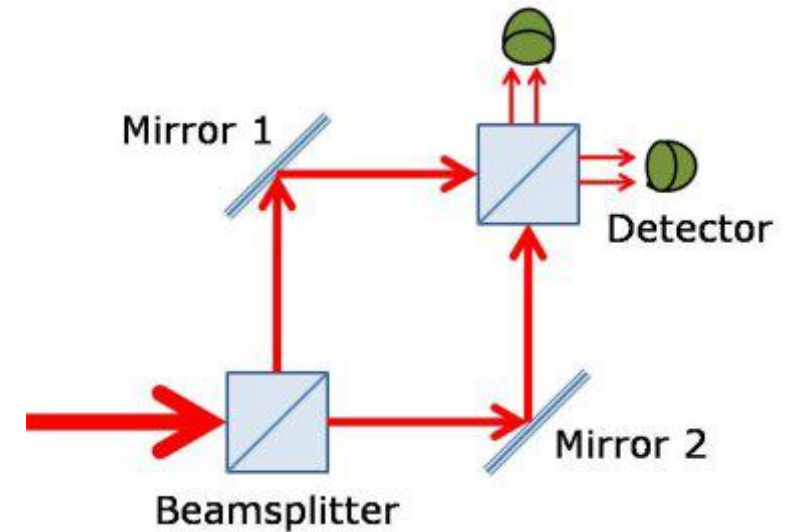
- Kvantu mehānikā (KM) veikti milzums daudzums eksperimentu, kas apstiprina tās pamatprincipus, tās «pareizību». Nav eksperimenta, kas apgāztu KM, kaut arī ir fiziķi, kas pēc tādiem «alkst». Li Smolins saka, ka KM nav pilnīga un agri vai vēlū «kritiskais» eksperiments būs.
- Liela nozīme ir eksperimentiem, kas provocē robežsituācijas ap KM. Pie tādiem eksperimentiem pieskaitāmi visi tie, kam sakars ar Dž.A.Vīlera ideju ar aizkavēto izvēli – delayed choice experiments.
- Eksperimentos, ko mēs aplūkosim, nozīme būs N.Bora papildinājuma principam, kas attiecībā uz daļiņas-viļņa dualitāti saka, ka eksperiments vai novērojums var noteikt tikai vienu šo dabu vienlaicīgi.
  - Nav vienotas nostājas, vai šis papildinājuma princips ir filozofiskas dabas vai iekļaujams KM pamatlikumos.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Complementarity\\_\(physics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Complementarity_(physics))

# A Mach-Zehnder Interferometer

- **Wheeler's Delayed Choice Experiment**

- Allyson O'Brien, 2010.

- Eksperiments: Vienā no detektoriem (konstruktīvā) interferences aina.
- Ja otru stara dalītāju noņem, tad ar vienādu varbūtību fotons nonāk vienā vai otrā detektorā.
- N. Bora papildinājuma princips: fotonam ar stara dalītāju ir viļņa daba, bet bez tā – daļiņas daba.



- Ja mēs ignorētu Bora papildinājuma principu un sacītu daļiņai «Dari, ko gribi», arī tad mēs nevarētu izskaidrot eksperimenta iznākumu citādi, kā to daļiņa dara.
- «Daļiņa pie pirmā stara dalītāja piezvana debesu kancelejai un paprasa – vai tur priekšā ir otrs stara dalītājs?»
- Roger Penrose – izskaidro KM eksperimenta holistiskā daba

# Ir tomēr KM skaidrojumi:

- O'Brien: ... eksperimenta rezultāti ir saskaņā ar KM. Šķiet, ka nav svarīgi, kad robežnosacījumi ir mainīti, tikai un vienīgi eksperimenta gala nosacījumi var noteikt, vai daļiņai būs viļņa vai daļiņas raksturs.
  - All of the experiments mentioned above produced results in agreement with quantum theory. It does not seem to matter when the boundary conditions of the experiment are changed; only the final boundary conditions of the experiment will affect whether light takes on wave-like or particle-like properties.
  - Matemātiskajā fizikā nebija otrādi? Uzdevumu definējam ar sākuma nosacījumiem, ne?
- **KM nelokalitāte – fotons var atrasties it kā vienlaicīgi vairākās vietās. It kā, no klasiskās izpratnes.**
- Bohm, Hiley.
- Bram Gaasbeek. Demistificē tikai kvantu dzēsēja eksp. Izmanto [3]
  - J. S. Bell, "On the problem of hidden variables in quantum mechanics", Rev. Mod. Phys. 38, 447, (1966)
  - KM ir nelokāla:
    - (1) the predictions of quantum mechanics can not be reproduced by a hidden variable theory, and
    - (2) quantum mechanics is inherently nonlocal.
  - G.B. neapskata parasto M.Z. Interferometru. Kāpēc? Apskatīts kāds agrīnāks Vīlera piedāvājums?
- Tegmark, Wheeler: ...showing that not only can a photon be in two places at once, but we can decide whether it should act schizophrenically or classically seemingly after the fact!

# Pamateksperimenta sarežģīšana

- Vīlers: Domu eksperimentā interferometra pleci viens gaismas gads
  - Fotonam tuvojoties otram stara dalītājam, tas atvirzās nost.
- Otrais stara dalītājs var atvirzīties un šo izvēli veic gadījuma skaitļu ģenerators:
  - <http://www.johnboccio.com/research/quantum/notes/Sci2007Jacques.pdf>
- Klasisko detektoru vietā tiek lietoti kvantu detektori:
  - <https://www.nature.com/articles/nphoton.2012.179>
  - Jian-Shun Tang, Yu-Long Li, Xiao-Ye Xu, Guo-Yong Xiang, Chuan-Feng Li\* and Guang-Can Guo **Realization of quantum Wheeler's delayed-choice exp. 2012.**

# Ir tomēr izeja:

- **Entanglement-enabled delayed choice experiment**
- Florian Kaiser,<sup>1</sup> Thomas Coudreau,<sup>2</sup> Perola Milman,<sup>2,3</sup> Daniel B. Ostrowsky,<sup>1</sup> and Sebastien Tanzilli<sup>1\*</sup>
- <https://arxiv.org/pdf/1206.4348.pdf>
- ... we explain the measurement procedure and present the results demonstrating that wave and particle behavior can coexist simultaneously.
- Secinājumi:
  - In conclusion, we have carried out a quantum delayed choice experiment, enabled by polarization entangled photons and the associated property of non-locality. We employed a Mach-Zehnder interferometer where the output beam-splitter has been replaced by its quantum analogue, i.e. a beam-splitter in a coherent superposition of being present and absent. In this configuration, we observed that the single photons under test can indeed behave as waves and particles in the same experiment. We experimentally excluded interpretations based on local hidden variables and/or information exchange between the photon and the quantum beam-splitter. This was done by revealing the state of the quantum beam-splitter only after the detection of the corroborative photon. We have, therefore, demonstrated delayed interference between wave and particle behavior, which underlines the subtleness of Bohr's complementarity principle.
- Sapītie stāvokļi ļauj lietot precīzu matemātisko aparātu.

# Secinājumi: iepriekšējā tulkojums latviski

- Secinot, mēs veicām kvantu aizkavētās izvēles eksperimentu, ko panācām ar polarizācijas sapītiem fotoniem un attiecīgām nelokalitātes īpašībām. Mēs izmantojām Maha Cēndera interferometru, kur izejas stara dalītājs tika aizvietots ar kvantu analogu, i.e. stara dalītāja klāt un ne-klāt superpozīcijā. Šādā konfigurējumā mēs novērojām, ka atsevišķie testējamie fotoni var patiešām uzvestie kā vilnis un daļiņa vienā un tai pašā eksperimentā. Mēs eksperimentāli izslēdzām uz lokāliem slēptiem mainīgiem balstītas interpretācijas un/vai informācijas apmaiņu starp fotonu un kvantu stara dalītāju. Tas tika izdarīts atklājot kvantu stara dalītāja stāvokli tikai pēc apstiprinošā fotona detektēšanas. Mēs tādējādi demonstrējām novēloto interferenci starp vilni un daļiņas uzvedību, kas pasvītro Bora papildinājuma principa smalkumu.
- We have, therefore, demonstrated delayed interference between wave and particle behavior.
  - Ko tas nozīmē?

"Wave and particle behavior can coexist simultaneously.«

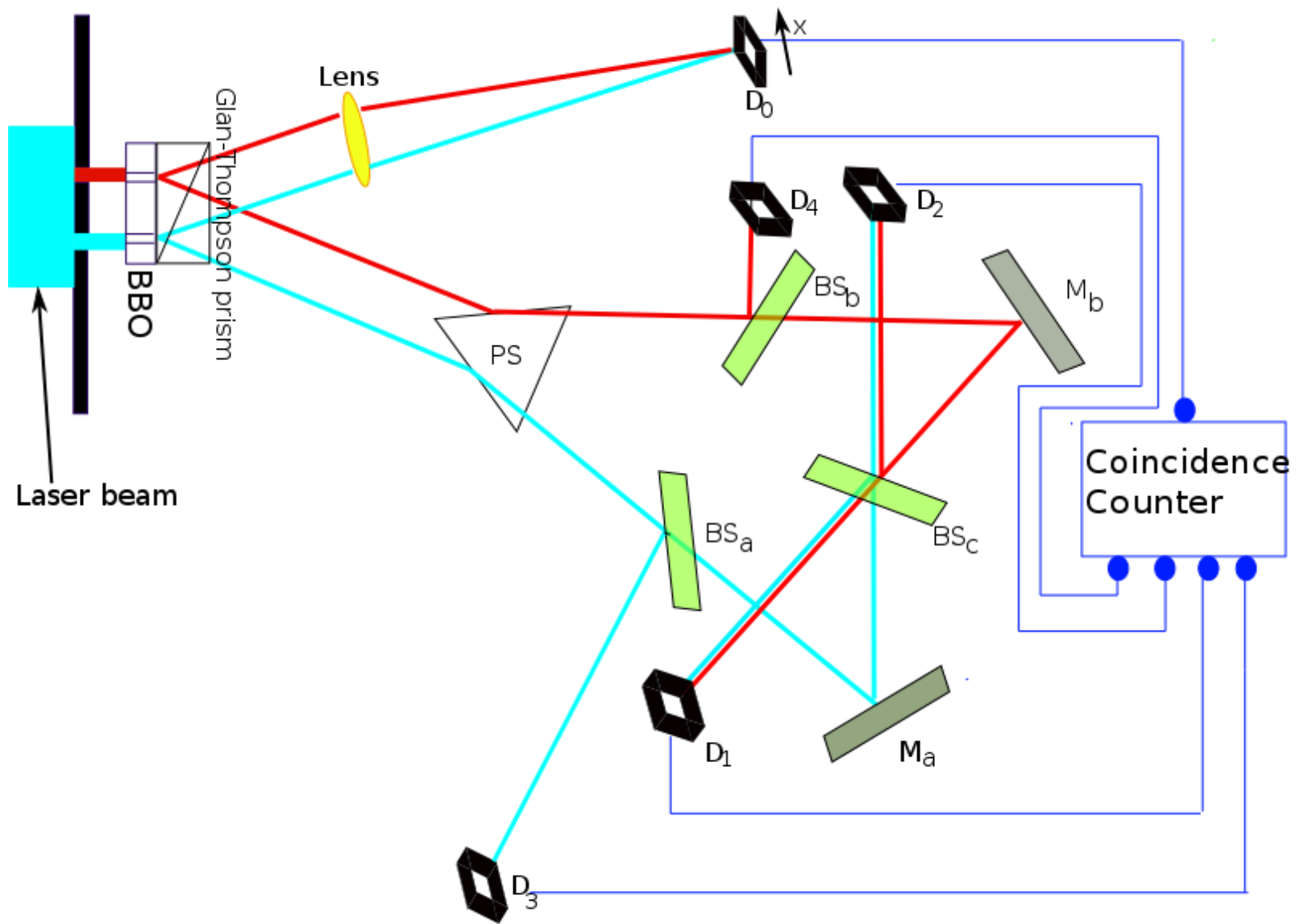
- **Entanglement-enabled delayed choice experiment**
- Florian Kaiser,<sup>1</sup> Thomas Coudreau,<sup>2</sup> Perola Milman,<sup>2,3</sup> Daniel B. Ostrowsky,<sup>1</sup> and Sebastien Tanzilli <sup>1\*</sup>
- <https://arxiv.org/pdf/1206.4348.pdf>
  - i.e. a beam-splitter in a coherent superposition of being present and absent.
- Runa iet par divu stāvokļu superpozīciju. Vārds 'simultaneously' varbūt ir maldinoši, ne?



# Delayed choice quantum eraser

## Aizkavētās izvēles kvantu dzēsējs

- [https://en.wikipedia.org/wiki/Delayed\\_choice\\_quantum\\_eraser#cite\\_note-26](https://en.wikipedia.org/wiki/Delayed_choice_quantum_eraser#cite_note-26)
- Fotonu stāvokļu sapīšana tiek lietota, piemēram, no viena fotona top divi identiski ortogonāli polarizēti sapīti fotoni ar  $\frac{1}{2}$  frekvenci no oriģinālā fotona:
  - [spontaneous parametric down conversion](#) (SPDC) is used to prepare an entangled two-photon state.
  - Spontānā parametriskā 'down' pārveide, SPDC vai parametriskā izkliede
- Ja detektoros D1 vai D2 dzēšas informācija, 'kurš ceļš', tad D0 interferences aina tiek novērota;
- Ja detektoros D3 vai D4 pienāk informācija, 'kurš ceļš', tad D0 interferences ainu nenovēro.
- Cēlonis, novērojumi pie papildus/apstiprinošais/coroborative fotona, izraisa sekas, pie signāla fotona, bet cēlonis ir 8ns pēc sekām.



# Spaciālā ne-lokalitāte + temporālā ne-lokalitāte = relativistiskā ne-lokalitāte

- Maha Cēndera interferometrs demonstrē spaciālo nelokalitāti un aizkavētās izvēles eksperiments ar kvantu dzēsēju demonstrē temporālo nelokalitāti. Kas iznāk kopā? To mēs varam nosaukt par relativistisko nelokalitāti. Tajā ar kvantu dzēsējiem ir abas nelokalitātes, bet gan nošķirtā veidā, proti, paralēlie ceļi – spaciālā nelokalitāte, bet dzēšanas un interferences ainu vienlaicīgums – temporālā nelokalitāte.
- Vai šo otro nevar interpretēt īsti relativistiskā gaismā? Kāds būtu secinājums?
  - Garākie ceļi ir ‘nobīdītā’ laikā, t.i. cita vieta uz gaismas konusa gan spaciāli gan temporāli, ... leņķī. Varam pat šo leņķi izrēķināt  $8 \text{ nsec}/2.5\text{m}(?)$

# Literatūra par aizkavētās izvēles eksperimentiem (Wheeler's Delayed Choice Experiment)

Vikipēdijā [https://en.wikipedia.org/wiki/Wheeler%27s\\_delayed\\_choice\\_experiment](https://en.wikipedia.org/wiki/Wheeler%27s_delayed_choice_experiment)

Extending Wheeler's delayed-choice experiment to space <http://advances.sciencemag.org/content/3/10/e1701180.full>

Real and Unreal: <https://briankoberlein.com/2015/06/04/real-and-unreal/>

Wheeler's Classic Delayed Choice experiment: [http://www.bottomlayer.com/bottom/basic\\_delayed\\_choice.htm](http://www.bottomlayer.com/bottom/basic_delayed_choice.htm)

Wheeler's delayed choice gedanken experiment with a single atom <https://www.nature.com/articles/nphys3343>

**Quantum Weirdness of Light Was Just Confirmed by Shooting Photons Into Space** <https://www.sciencealert.com/wheeler-s-delayed-choice-experiment-record-distance-space>

- Realization of quantum Wheeler's delayed-choice experiment <https://www.nature.com/articles/nphoton.2012.179>
- **Experiment confirms quantum theory weirdness** <https://phys.org/news/2015-05-quantum-theory-weirdness.html>
- Satellite Realization of Wheeler's Delayed-Choice Thought Experiment
- <http://2017.qcrypt.net/wp-content/uploads/2017/09/Th457.pdf>
- Experimental Realization of Wheeler's Delayed-Choice Gedanken Experiment <http://www.jstor.org/stable/pdf/20039007.pdf>
- The John Wheeler "Delayed Choice" Experiment By Antony Peake, <https://www.anthonypeake.com/627/>
-

- The Wheeler-Feynman Interpretation of the Delayed-Choice Experiment and its Consequences for Quantum Computation Stephen Pink and Stanley Martens, <http://vixra.org/pdf/1707.0045v1.pdf>

# Par Vīlera domu eksperimentiem, kas pārbaudīti un tiek turpināti pārbaudījumi

- Par ko ir runa?
- A team of Italian physicists has gone super-size with something called [Wheeler's delayed-choice experiment](#) in an effort to see if the process can be scaled up from a [previous record distance](#) of 144 kilometres (about 90 miles) to 3,500 kilometres (about 2,200 miles).
- Not to give away the ending, but you're probably not surprised to learn the experiment's results still hold true, and the form a wave of energy takes seems to depend on how a conscious mind looks at it.
- But the insanity behind it all is fascinating, so let's take a moment to dig into the history of the experiment.