

KOMPUTERY KWANTOWE I KOTY SCHROEDINGERA

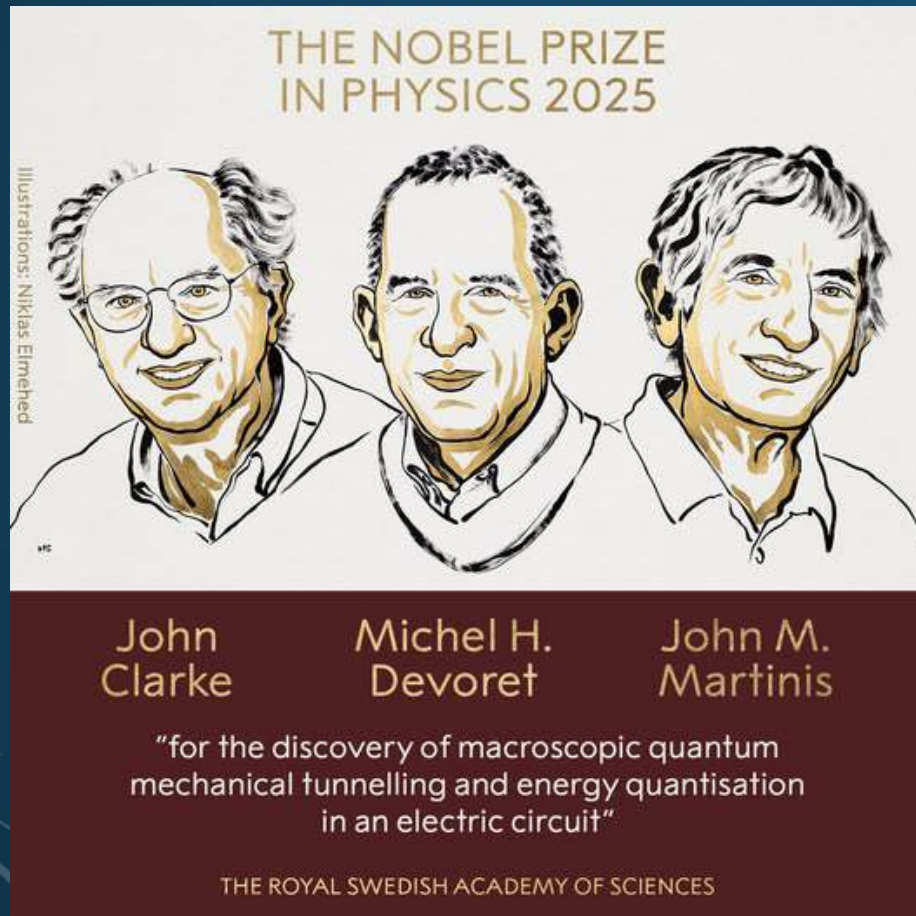
CZYLI FIZYKA KWANTOWA NA STERYDACH – NOBEL 2025

ROK 2025 – MIĘDZYNARODOWY ROK FIZYKI I TECHNOLOGII KWANTOWYCH UNESCO



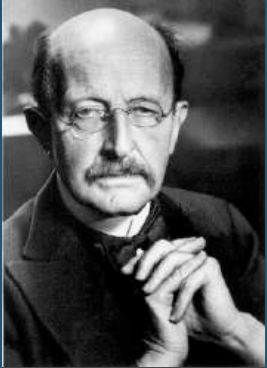
UNESCO Headquarters, Paris 04.02.2025

NAGRODA NOBLA Z FIZYKI ZA ROK 2025



„Za stworzenie podstaw elektroniki kwantowej”

100 LECIE (DOJRZAŁEJ) MECHANIKI KWANTOWEJ



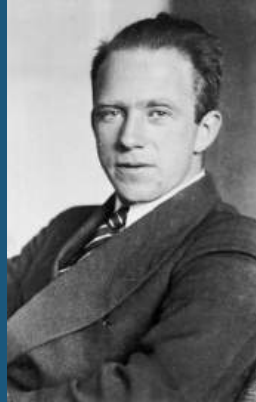
9. Ueber das Gesetz der Energieverteilung im Normalspectrum; von Max Planck.
(In anderer Form mitgeteilt in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft, Sitzung vom 19. October und vom 14. December 1900, Verhandlungen 3. p. 202 und p. 227. 1900.)

Max Planck
„O prawie rozkładu energii w widmie normalnym”

Pojęcie kwantu energii

$$E = h\nu$$

[1900]



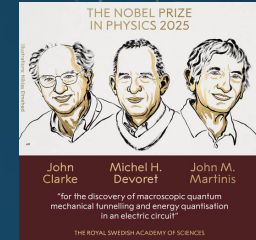
Zeitschrift für Physik 33, 879–893 (1925)
879
Über quantentheoretische Umdeutung kinematischer und mechanischer Beziehungen.
Von W. Heisenberg in Göttingen.
(Eingegangen am 29. Juli 1925.)

Werner Heisenberg
„O reinterpretacji zależności kinematycznych i mechanicznych w teorii kwantów”

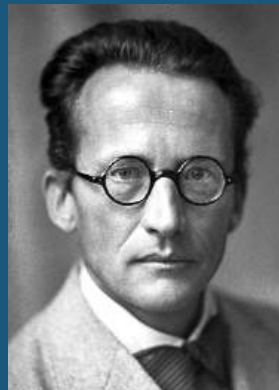
Mechanika Macierzowa

[1925/1926]

Wielkości fizyczne (tj. położenie, pęd) nie są liczbami, lecz operatorami (macierzami)



[2025/2026]



1926 Nº 18
ANNALEN DER PHYSIK
VIERTE FOLGE. BAND 81
1. Quantisierung als Eigenwertproblem;
von E. Schrödinger

Erwin Schroedinger
„Kwantyzacja jako zagadnienie wartości własnych”

Mechanika Falowa

$$i\hbar \frac{\partial \Psi(x,t)}{\partial t} = -\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \Psi(x,t)}{\partial x^2} + V(x)\Psi(x,t)$$

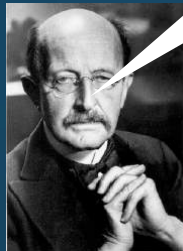
Równanie Schroedingera
Stan układów fizycznych opisujemy „funkcją falową”

KWANT ENERGII



Jak świecą
rozgrzane ciała?

3. Ueber das Gesetz
der Energieverteilung im Normalspectrum;
von Max Planck.
(In anderer Form mitgeteilt in der Deutschen Physikalischen Gesellschaft,
Sitzung vom 19. October und vom 14. December 1900, Verhandlungen
2. p. 202 und p. 237. 1900.)



Aby teoria zgodziła się z obserwacjami, konieczne było założenie, że materia wymienia energię z promieniowaniem w porcjach (kwantach)

„Rozważamy jednak [...], że E składa się z określonej liczby równych części i w tym celu wprowadzamy stałą przyrody $h = 6,55 \times \text{erg s}$ ”
Verhandlungen der Deutschen Physikalischen Gesellschaft 2 (1900), s. 237–245.

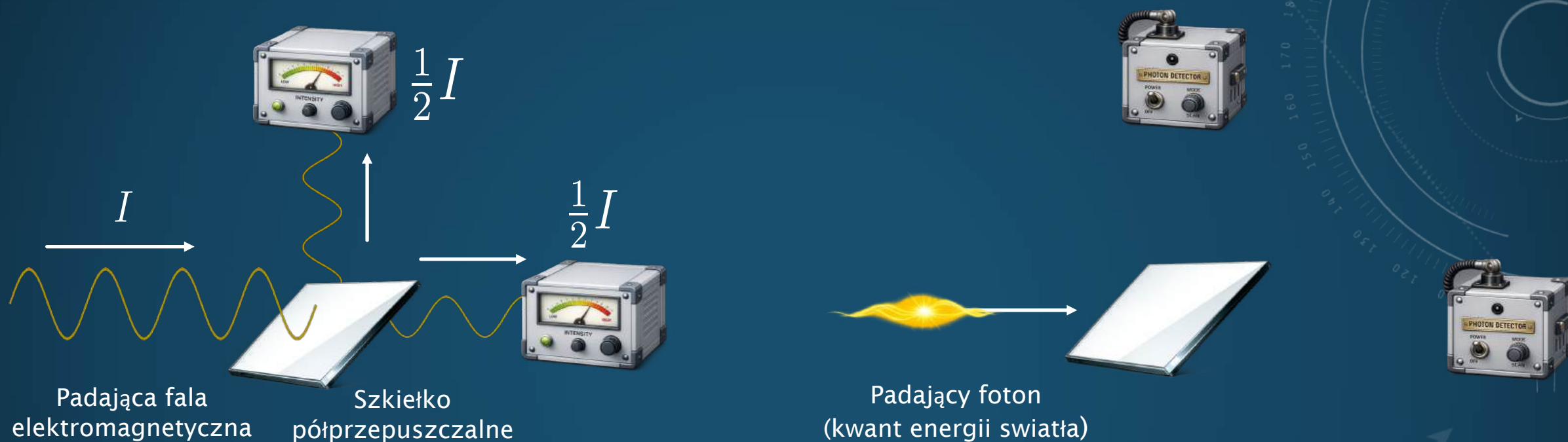
$$E = h\nu$$

Stała Plancka

Częstotliwość fali
elektromagnetycznej

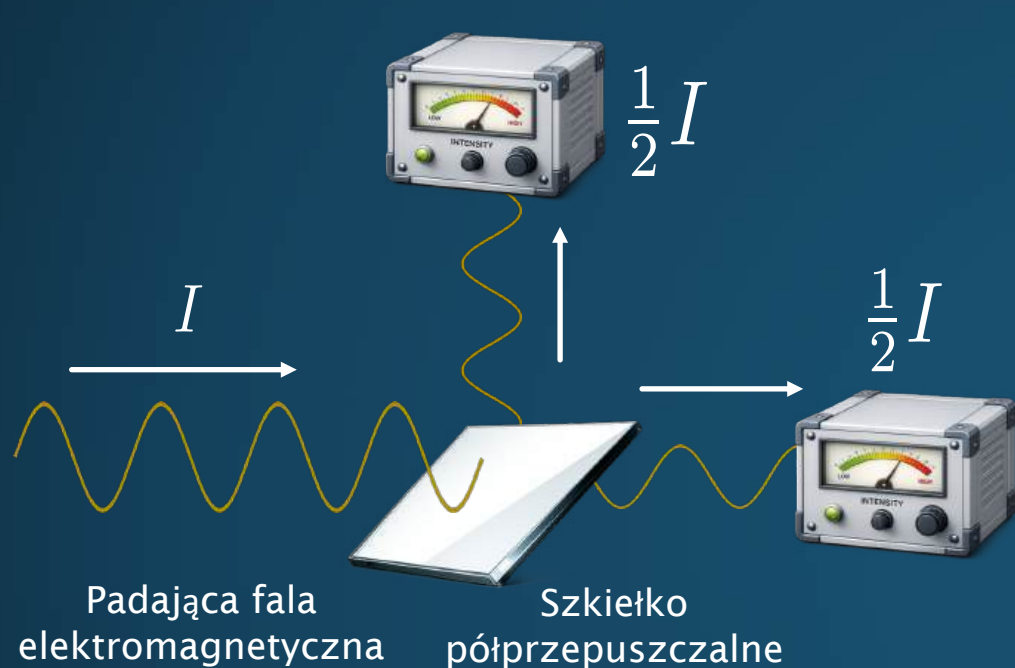
$$h = 6.62607015 \cdot 10^{-34} \text{m}^2 \text{kg/s}$$

SKWANTOWANE ENERGII -> INDETERMINIZM



Amplituda fali ulega
osłabieniu

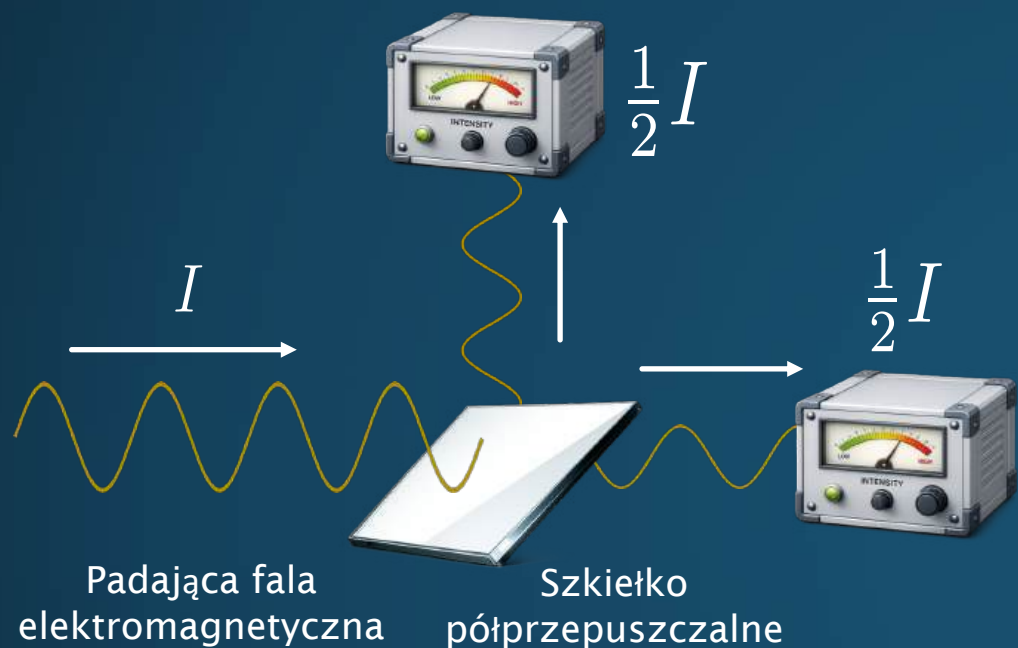
SKWANTOWANE ENERGII -> INDETERMINIZM



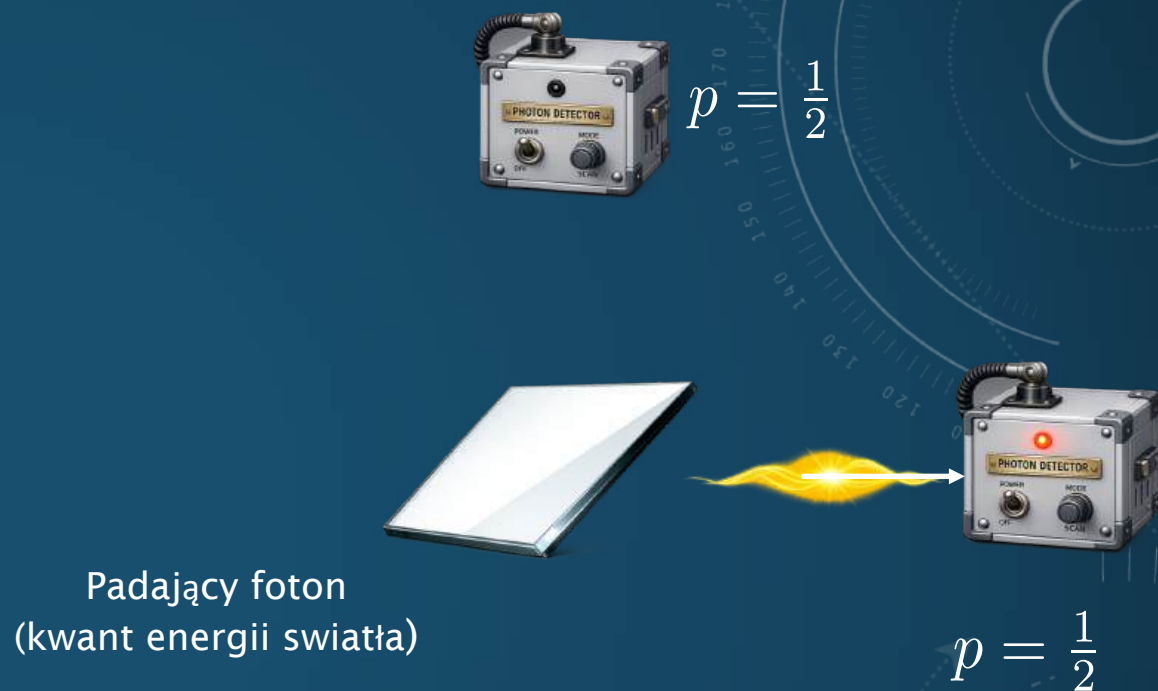
Amplituda fali ulega osłabieniu

Foton nie dzieli się.
Tylko jeden detektor klika!

SKWANTOWANE ENERGII -> INDETERMINIZM

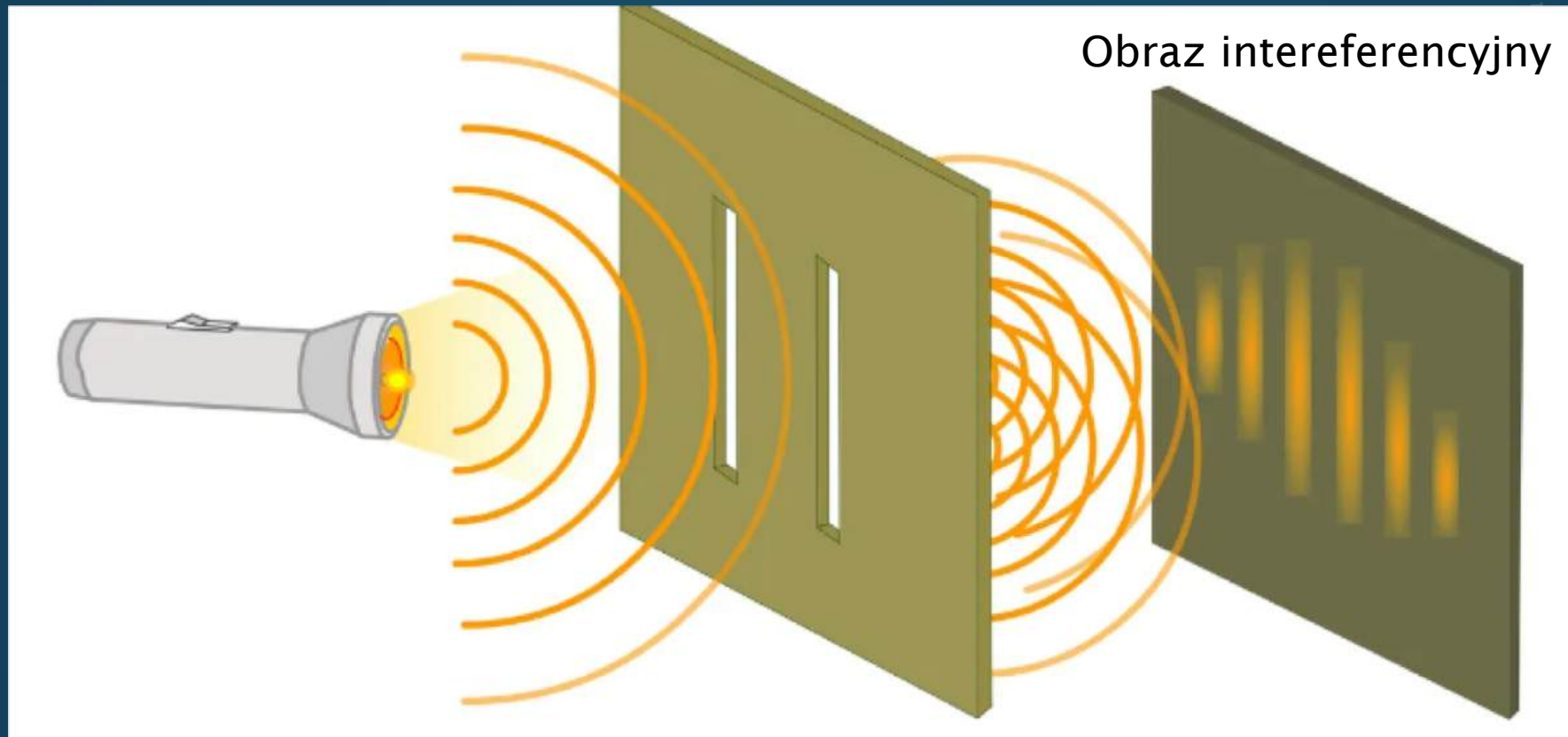


Amplituda fali ulega osłabieniu



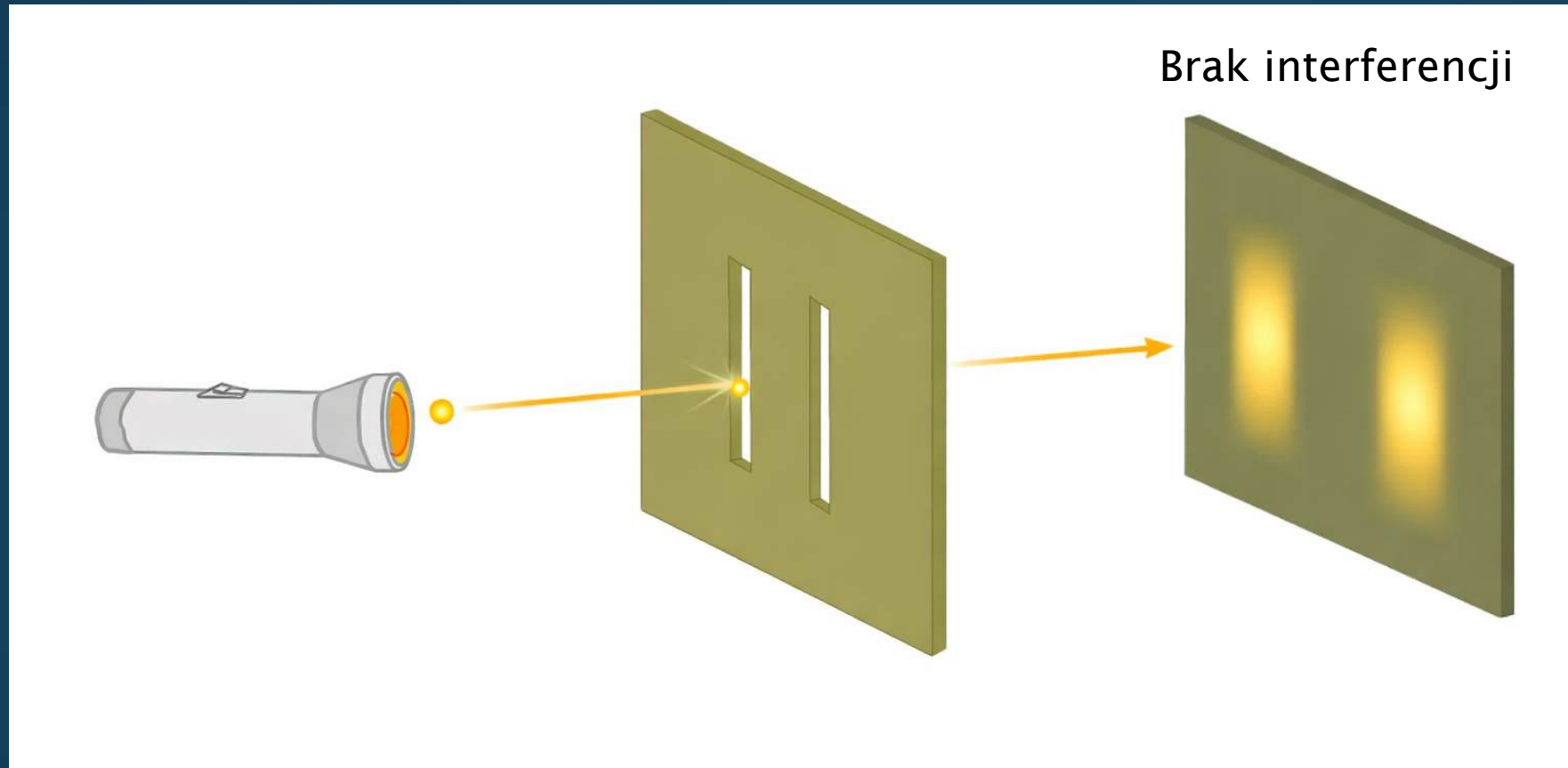
Foton nie dzieli się.
Tylko jeden detektor klika!
Zachowanie probabilistyczne

FOTON A ZJAWISKO INTERFERENCJI ŚWIATŁA



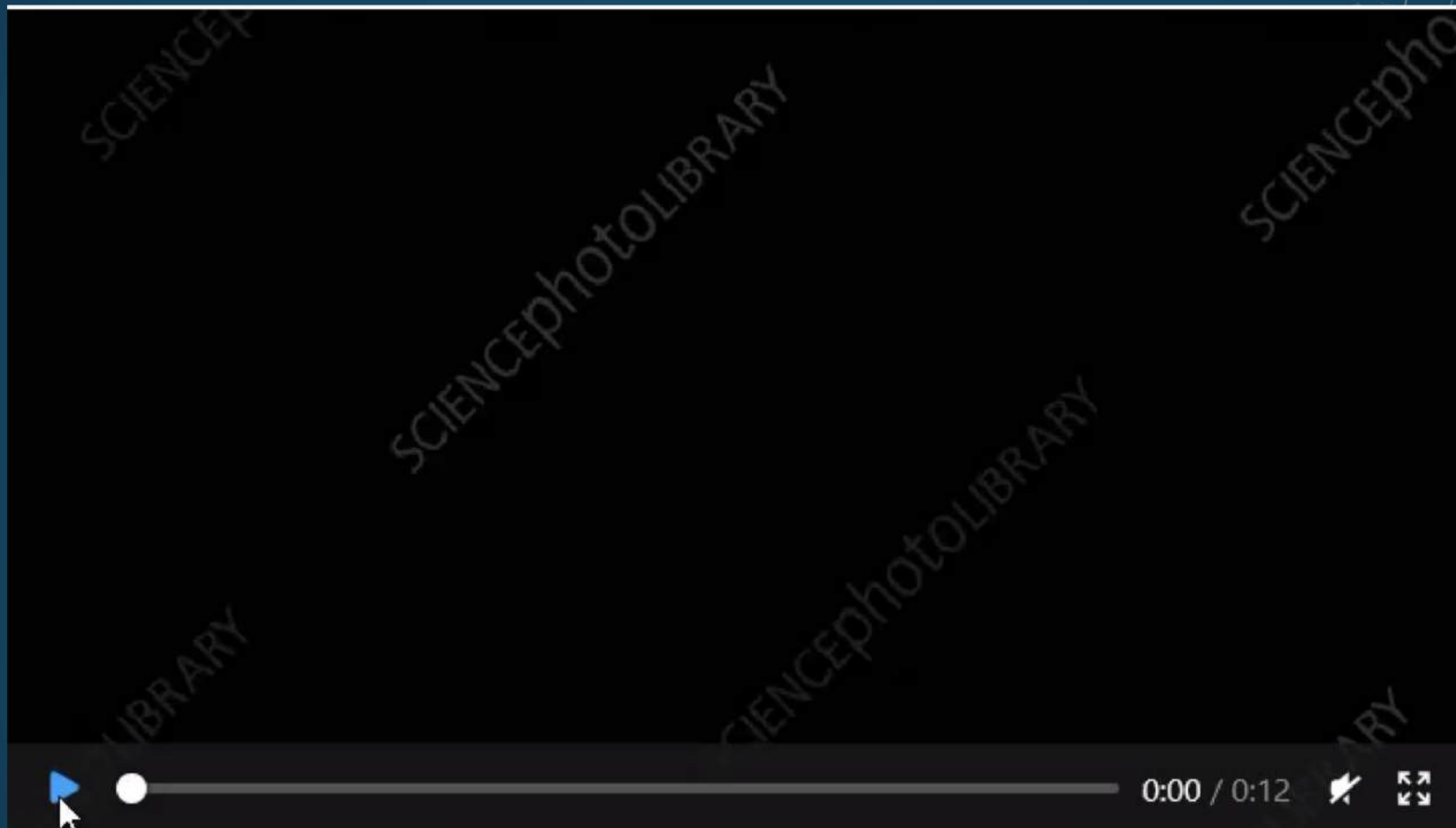
Eksperyment z dwiema szczelinami
Jak to pogodzić z opisem przy pomocy fotonów?

FOTON A ZJAWISKO INTERFERENCJI ŚWIATŁA



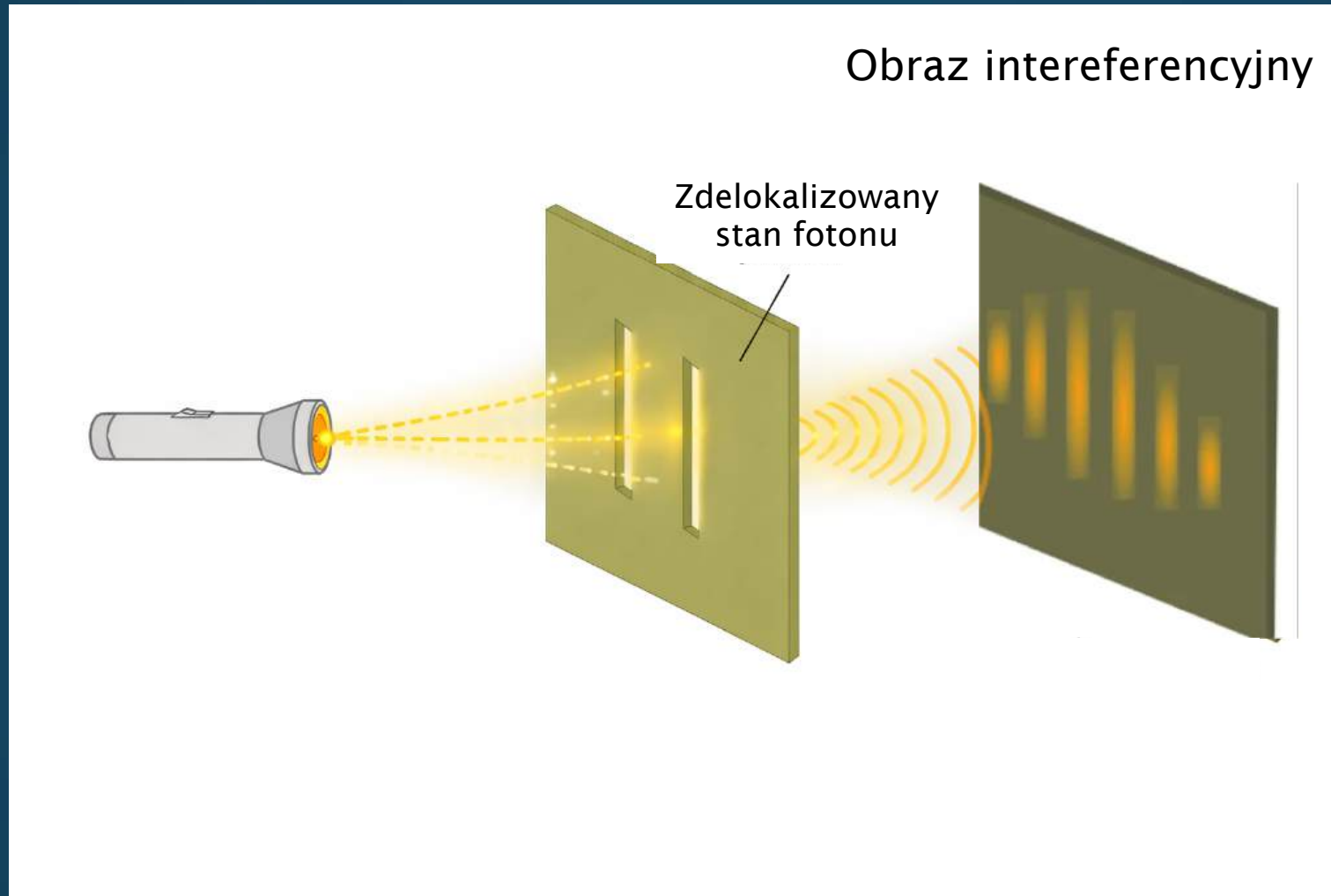
Gdyby foton zachowywał się jak klasyczna cząstka i przechodził przez jedną szczelinę ALBO drugą...

FOTON A ZJAWISKO INTERFERENCJI ŚWIATŁA



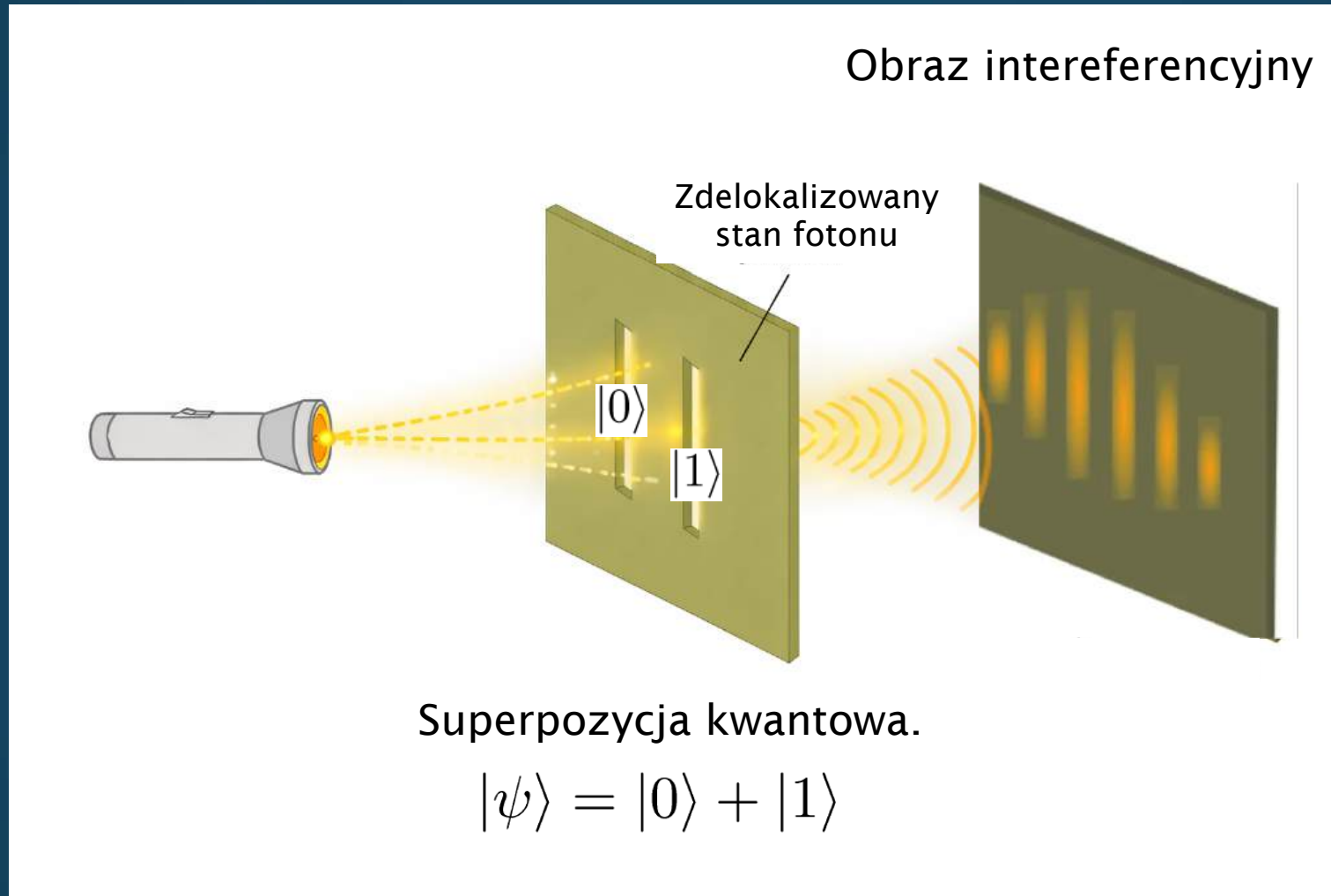
A jak jest w eksperymencie?

FOTON A ZJAWISKO INTERFERENCJI ŚWIATŁA



Foton interferuje sam ze sobą! To którą szczeliną przeszedł nie jest dobrze określoną wielkością fizyczną.

FOTON A ZJAWISKO INTERFERENCJI ŚWIATŁA



Foton interferuje sam ze sobą! To którą szczeliną przeszedł nie jest dobrze określoną wielkością fizyczną.

KWANTOWA ZASADA SUPERPOZYCJI

Jeśli $|0\rangle, |1\rangle$ pewne dopuszczalne stany cząstki to

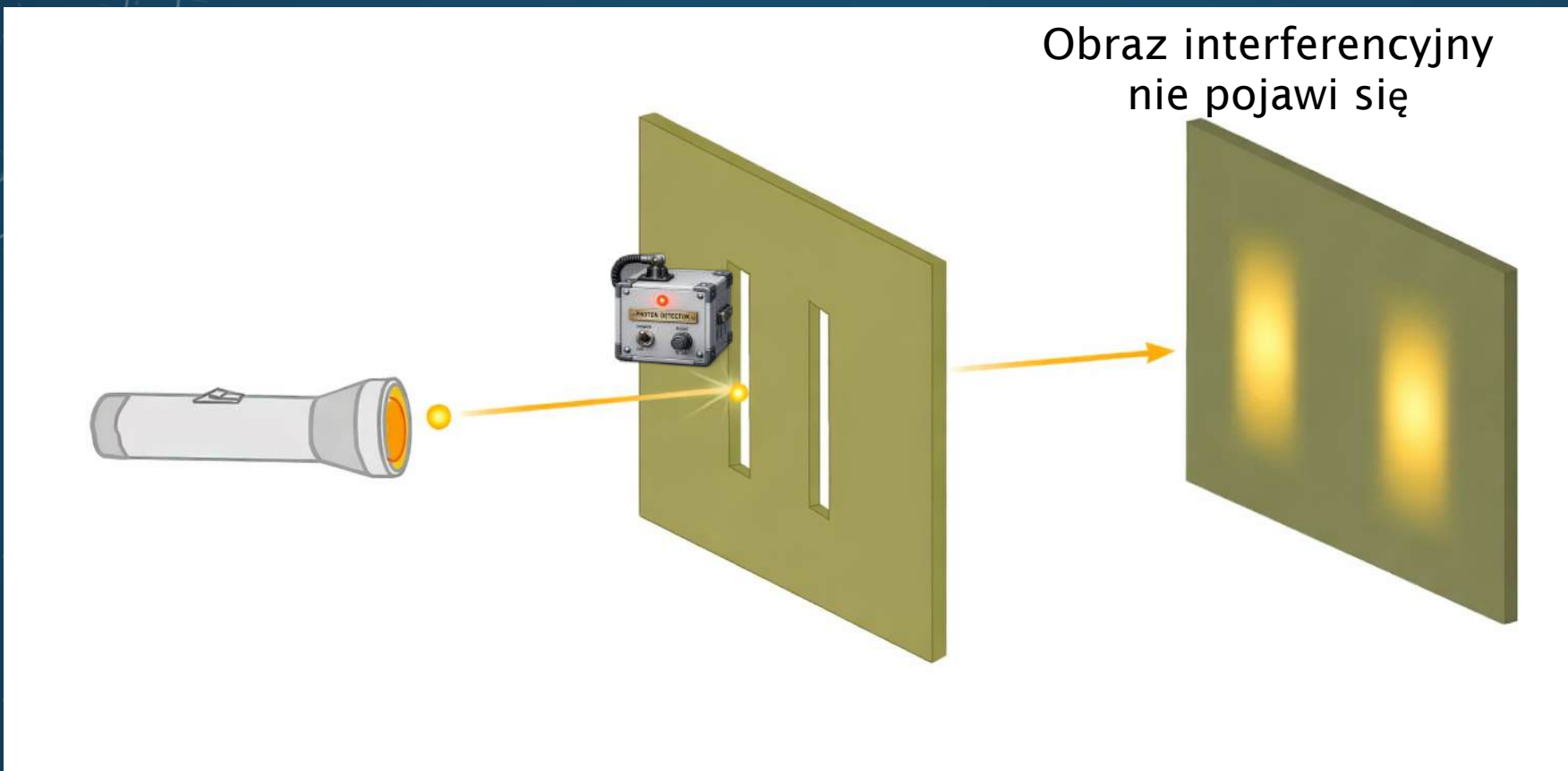
$$|\psi\rangle = |0\rangle + |1\rangle$$

też jest dopuszczalnym stanem

- cząstka w kilku miejscach jednocześnie
- cząstka poruszająca się naraz z różnymi prędkościami
- atom w kilku stanach energetycznych naraz
- kot żywy i martwy jednocześnie...

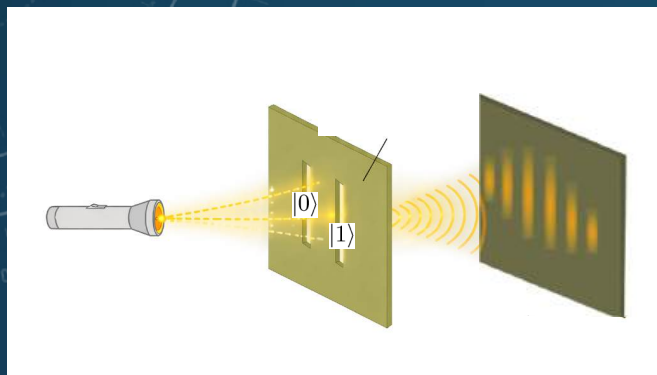


JEŚLI BĘDZIEMY MIERZYĆ, KTÓRĄ SZCZELINĄ PRZECHODZI FOTON...



To którą szczeliną przeszedł foton jest teraz dobrze określoną wielkością fizyczną! Nie obserwujemy interferencji!

DEKOHERENCJA, CZYLI DLACZEGO NIE SPOTYKAMY KOTÓW SCHROEDINGERA

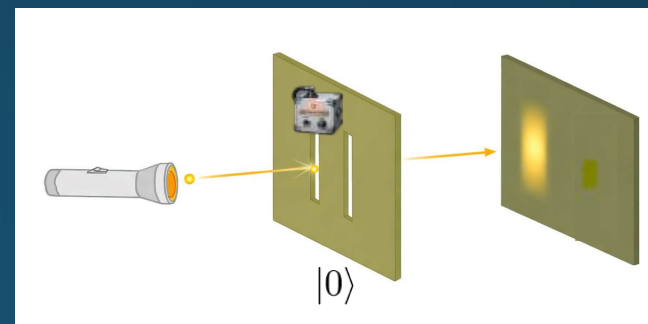


Droga fotonu
nieokreślona

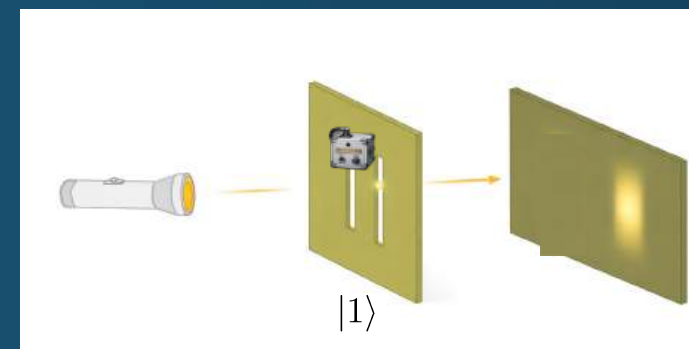
$$|\psi\rangle = |0\rangle + |1\rangle$$

Obserwujemy
interferencje

oddziaływanie
z detektorem



+



Stan fotonu splątany ze stanem detektora

$$|\psi\rangle = |0\rangle \otimes |\text{detektor}\rangle + |1\rangle \otimes |\text{detektor}\rangle$$

Informacja o drodze fotonu przekazana „innemu
układowi fizycznemu” - brak interferencji!

DEKOHERENCJA, CZYLI DLACZEGO NIE SPOTYKAMY KOTÓW SCHROEDINGERA

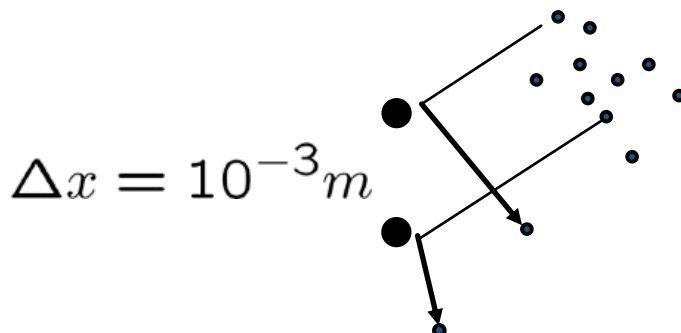


Wojciech Żurek

jeden z głównych twórców teorii dekoherencji kwantowej

Jeśli informacja o stanie układu, jest przekazana innemu układowi fizycznemu (otoczeniu), do którego nie mamy dostępu, nie możemy zaobserwować efektów superpozycji kwantowej!

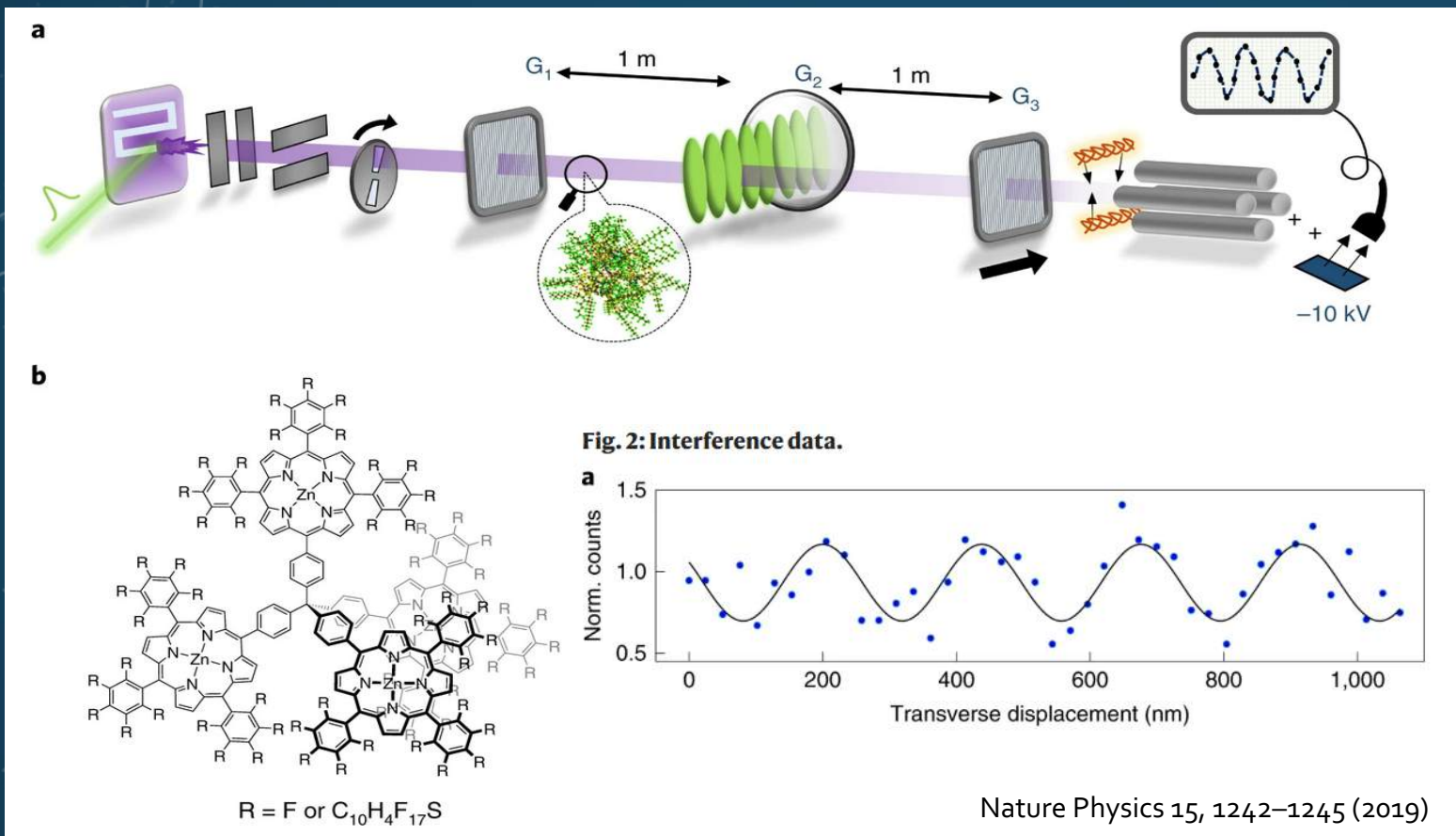
Czy możemy zaobserwować superpozycję położenia „pyłka” na odległości 1mm?



Informacja o położeniu pyłka wycieka do otoczenia, zmieniając sposób rozpraszania cząstek otoczenia!

źródło dekoherencji	czas życia superpozycji (s)
kosmiczne promieniowanie tła	1
fotony termiczne (300K)	10^{-18}
cząsteczki powietrza	10^{-31}

IM WIĘKSZE UKŁADY TYM TRUDNIEJ ZAOBSERWOWAĆ SUPERPOZYCJĘ KWANTOWĄ



Koty za
duże!



Interferencja rekordowo dużych cząsteczek! 25000 mas atomowych!

NADPRZEWODNICTWO – KWANTOWY EFEKT W SKALI MAKRO

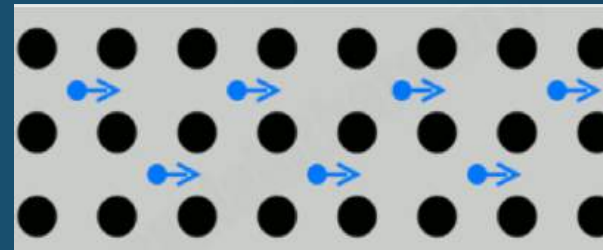


Heike Kamerlingh Onnes

W temperaturze 4K, opór elektryczny rtęci znika!

[1911]

Opór elektryczny związany ze zderzeniami elektronów z atomami sieci krystalicznej metalu



<https://www.explainthatstuff.com>

W nadprzewodnikach, elektrony w niskich temperaturach tworzą pary Coopera, które nie „rozpraszają” się na sieci, przez skwantowanie poziomów energetycznych i zbyt małą dostępną energię wzbudzeń

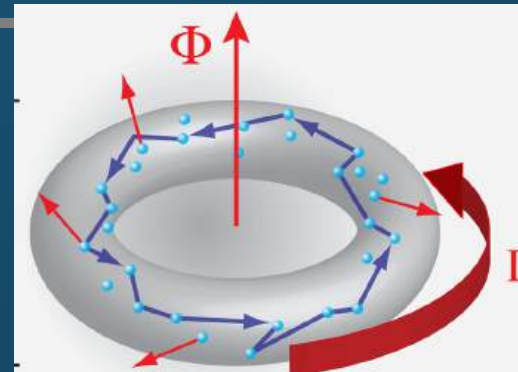
Zastosowania: Silne pola magnetyczne



Lewitacja magnetyczna



Rezonans magnetyczny



Prąd płynie bez przyłożonego napięcia!

TUNELOWANE KWANTOWE – PRĄD PRZEZ IZOLATOR!



Heike Kamerlingh Onnes

W temperaturze 4K,
opór elektryczny
rtęci znika!

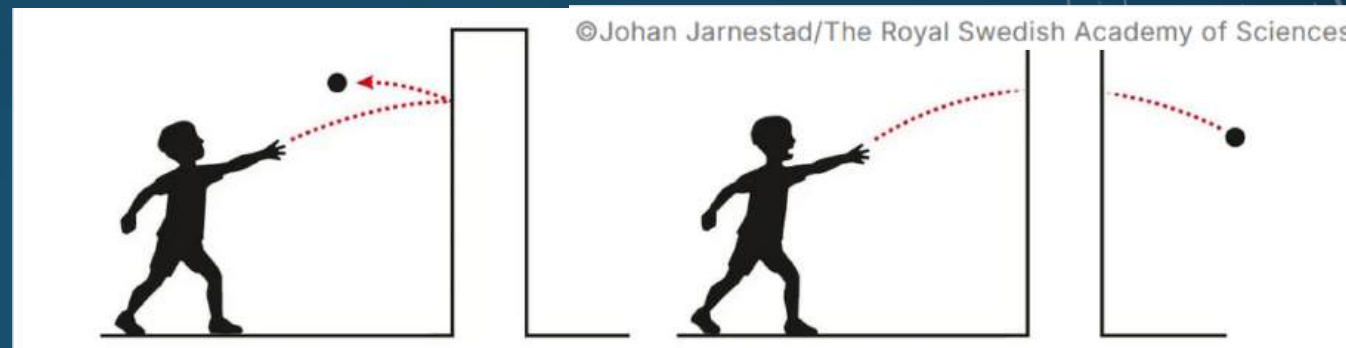
[1911]

[1964]

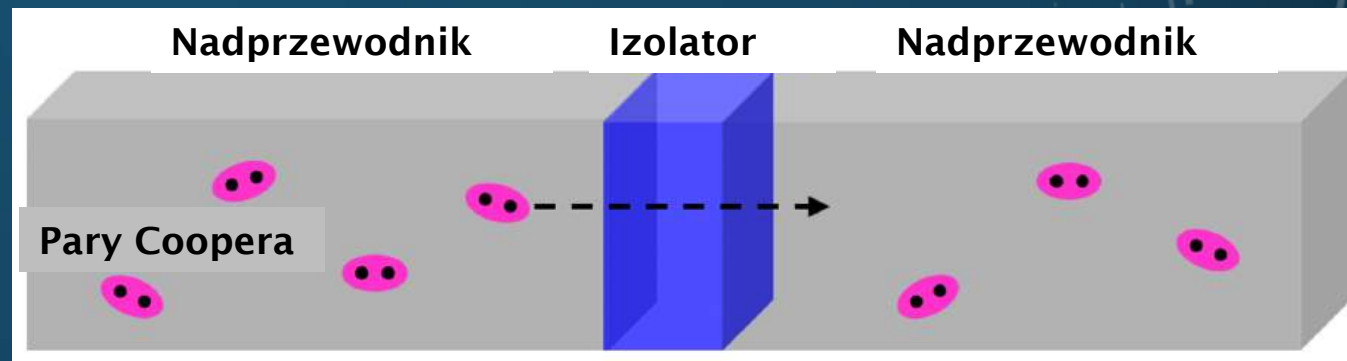


Brian D. Josephson

Efekt Josephsona



cząstka z pewnym prawdopodobieństwem może pokonać,
klasycznie niepokonywalną barierę



NOBEL Z FIZYKI 2025 – ELEKTRONKA KWANTOWA



Heike Kamerlingh Onnes

W temperaturze 4K, opór elektryczny rtęci znika!

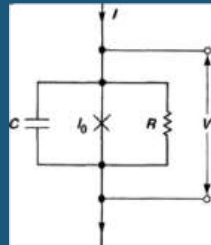
[1911]



Brian D. Josephson

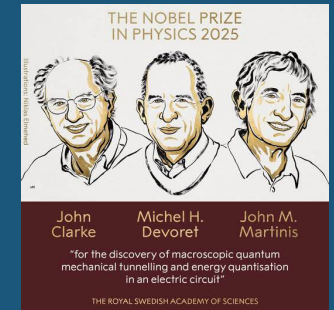
Efekt Josephsona

[1964]



Obwód elektryczny – jako układ kwantowy. Superpozycja różnych natężeń prądu...

[1984]

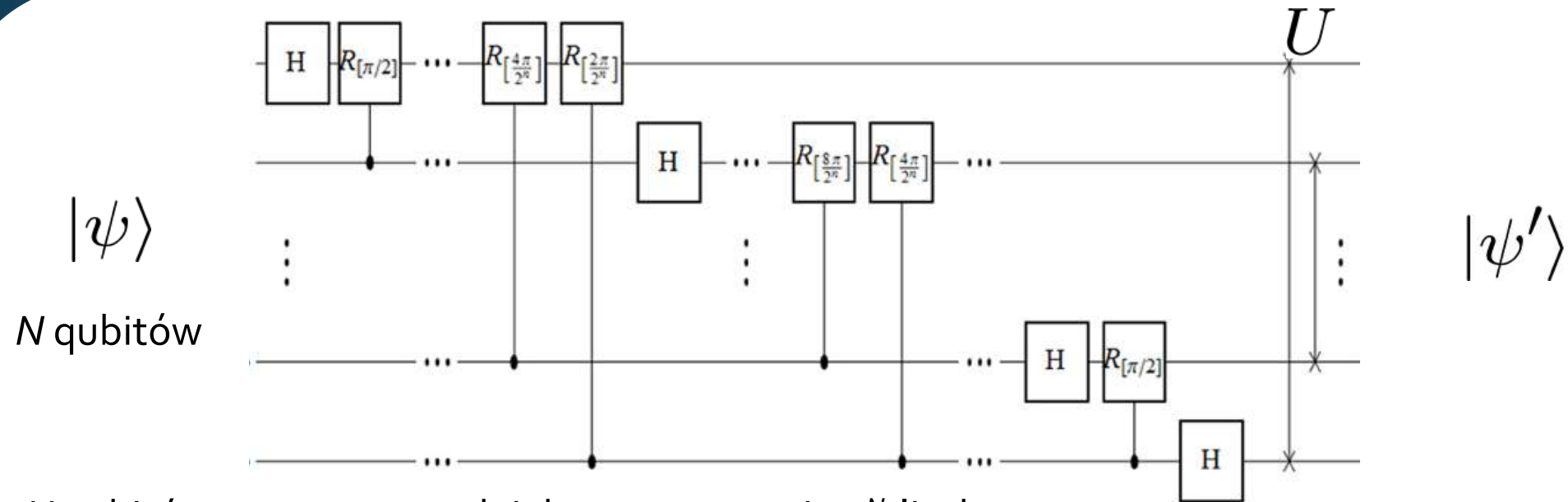


[2025]

Qubit – jednocześnie w stanie logicznym 0 i 1

$$|\psi\rangle = |0\rangle + |1\rangle$$

IDEA OBLICZEŃ KWANTOWYCH



N qubitów

N qubitów przygotowanych jako superpozycja 2^N liczb

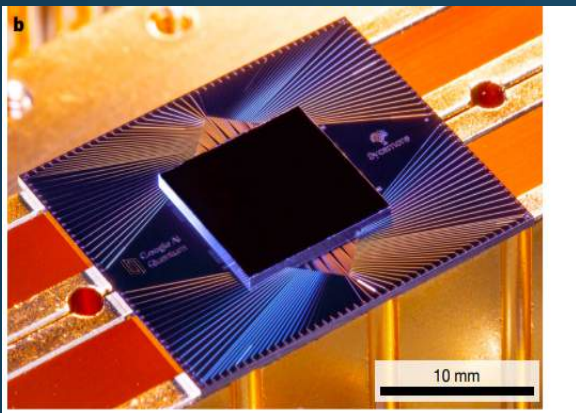
$$|\psi\rangle = |00 \dots 0\rangle + |00 \dots 1\rangle + \dots + |11 \dots 1\rangle$$

W jednym obliczeniu przetwarzane wszystkie składniki superpozycji

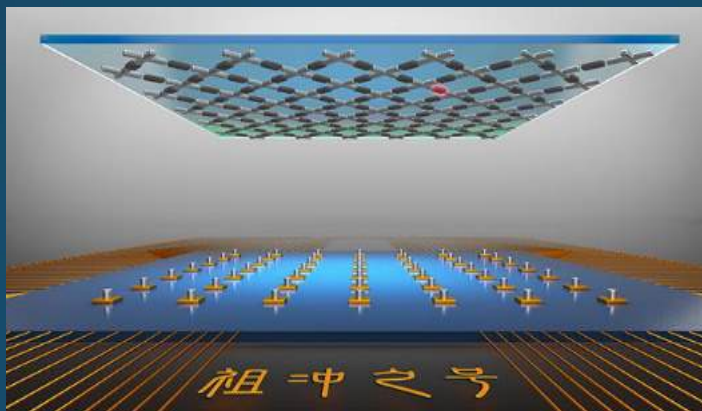
$$|\psi'\rangle = U|00 \dots 0\rangle + U|00 \dots 1\rangle + \dots + U|11 \dots 1\rangle$$

Potencjalnie wykładnicze przyspieszenie obliczeń!

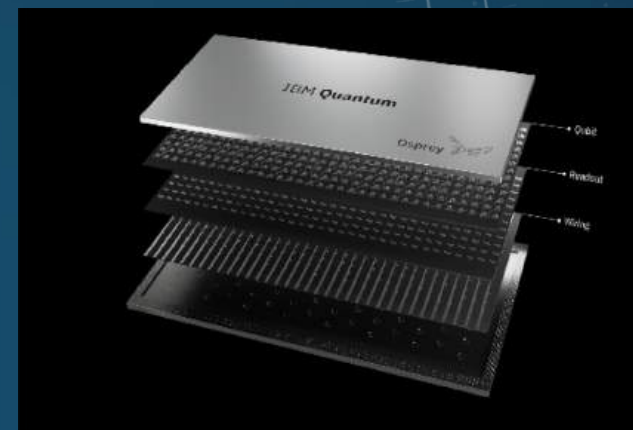
OBLICZENIA KWANTOWE - OSIĄGNIĘCIA



53 qubitowy kwantowy procesor Google (2019)
[103 qubitowy (2024)]



60 qubitowy procesor Zuchongzhi
(2022)



120 qubitowy kwantowy procesor
IBM (2025)

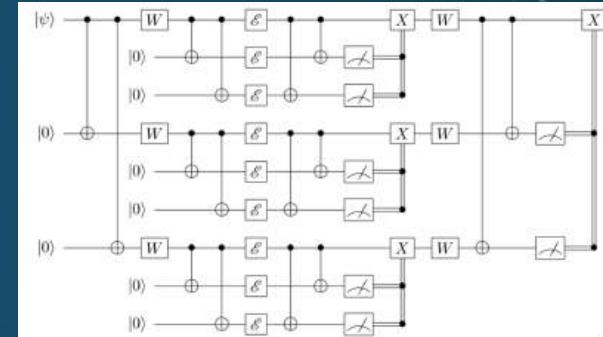
Qubity nadprzewodzące, błędy bramek logicznych na poziomie (10^{-2} - 10^{-3})

Przewaga nad klasycznymi komputerami, zademonstrowana jedynie w zadaniu symulacji wyników generowanych przez losowy obwód kwantowy

PRZEKLEŃSTWO DEKOHERENCJI

Im większy komputer kwantowy budujemy tym trudniej walczyć z dekoherencją!

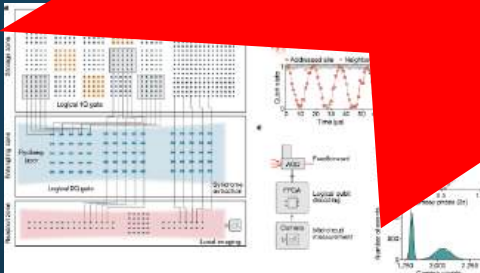
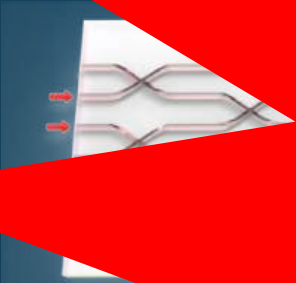
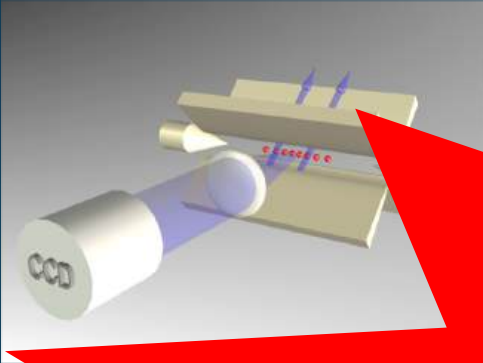
Nadzieja: kwantowa korekcja błędów!



Willow quantum chip (Google 2024)
105 qubitów

Implementacja kwantowych kodów korekcji błędów dla jednego logicznego qubitu (redukcja błędów z 10^{-2} do 10^{-3})

RÓŻNE PLATFORMY FIZYCZNE



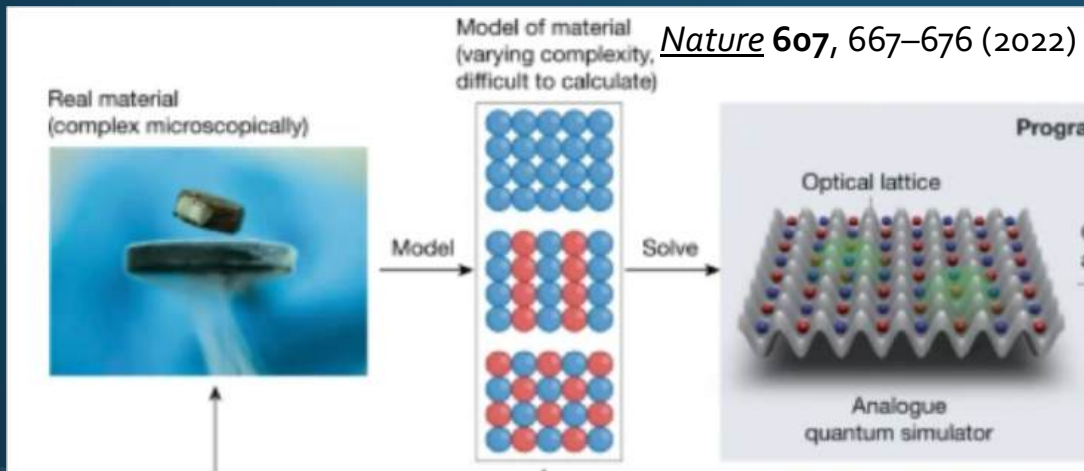
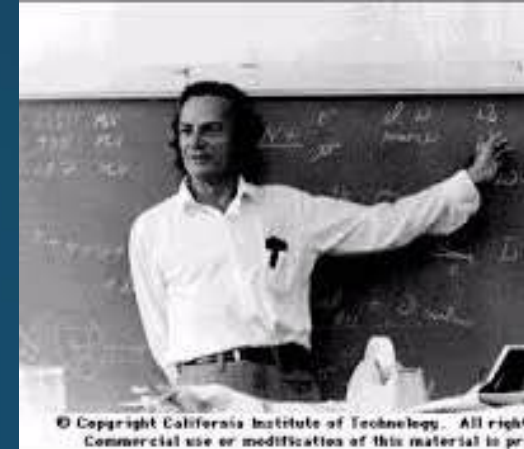
Na chwilę obecną, żaden komputer kwantowy nie wykonuje żadnego użytecznego obliczenia, które nie byłoby do wykonania na komputerach klasycznych!

...y Rydbergowskie w sieciach optycznych
Harvard, MPQ Munich
Dużo qubitów fizycznych, łatwość implementacji kwantowych kodów korekcji błędów, wysoka koherencja ale względnie wolne bramki, konieczność przesuwania atomów

A MOŻE SYMULATORY KWANTOWE?

Natura nie jest klasyczna, do cholery, i jeśli chcesz zrobić symulację natury, lepiej zrób ją kwantowo-mechaniczną!

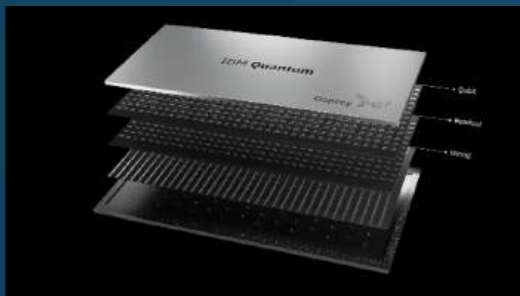
Richard Feynman, 1982



Podobna idea do klasycznych komputerów analogowych

TECHNOLOGIE KWANTOWE

Obliczenia kwantowe



„Zrównoleglenie” obliczeń dzięki własności superpozycji kwantowej (qubity zamiast bitów)

Komunikacja kwantowa



Bezpieczna wymiana klucza kryptograficznego, dzięki wrażliwości układów kwantowych na pomiar

Metrologia kwantowa



Zwiększenie czułości urządzeń pomiarowych dzięki większej wrażliwości superpozycji/splątania kwantowego na parametry otoczenia

ROK 2025 – ROK WITKACEGO (WITKIEWICZÓW)



Jeszcze jaskrawiej występuje problem obserwatora w mikrofizyce w związku z eksplisytym wymaganiem brania pod uwagę tylko tego co obserwowalne. [...] obserwator nie tylko wślizgnął się tu [...], on po prostu rozsiadł się w odnośnych równaniach jak w fotelach [...]. Obserwator [...] musi być przyjęty jako zanawiasowy element konieczny poglądu fizykalnego, który przez to traci swój charakter pseudoobiektywności absolutnej [...] Wróg czystego fizykalizmu, którego pozorne niegdyś pokonanie było złudnym tryumfem materializmu, znajduje się już wewnątrz fortecy.

[1895]

[1915]

140

[2025]

110

$$250 = 140 + 110$$



Śmierć Stanisława Witkiewicza (Ojca)

S. I Witkiewicz, „O zjawiskowości tzw. przedmiotu rzeczywistego i fizykalnego jako jego części i o obserwatorze w równaniach fizyki”, 1937





Dziękuję!



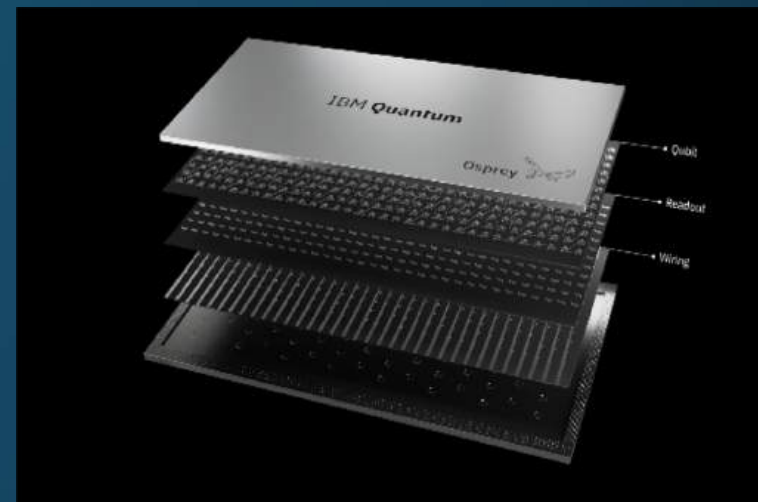
THE NOBEL PRIZE
IN PHYSICS 2025

Illustrations: Niklas Elmehed

John
Clarke Michel H.
Devoret John M.
Martinis

"for the discovery of macroscopic quantum
mechanical tunnelling and energy quantisation
in an electric circuit"

THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES





„[...] mimo zmienności poglądów fizyki, "leżę przed nią na brzuchu" jako przed taką ale czemu to implikować pogardę dla filozofii [...] i to, zwracam uwagę, pisze człowiek, który chciał być kiedyś teoretycznym fizykiem, studiował matematykę i dotąd jest pełen uwielbienia dla tych nauk i dla nauki w ogóle.”

