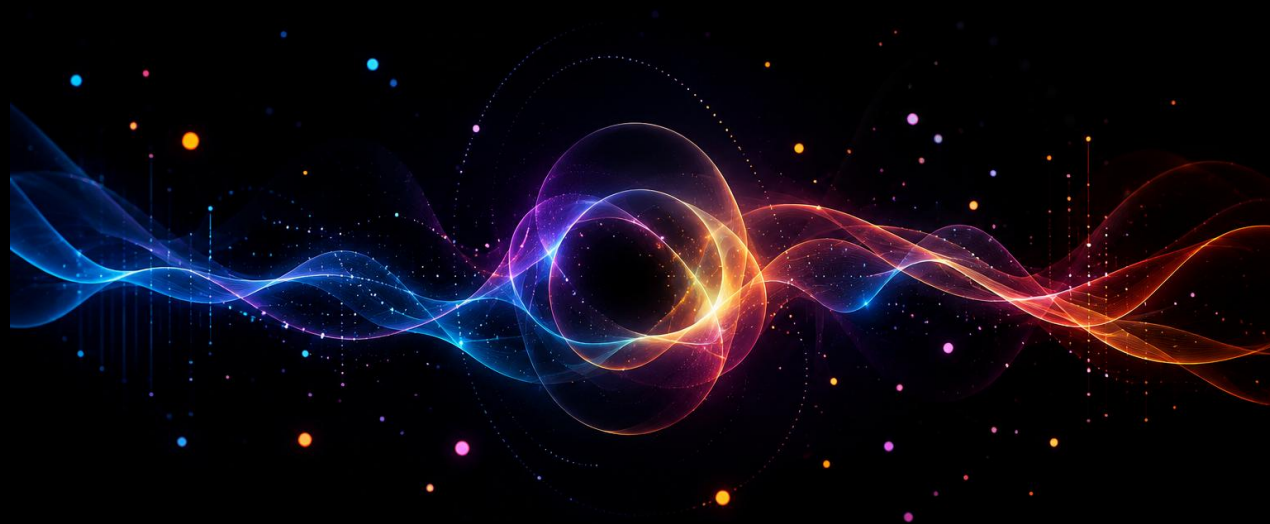


Kvantová fyzika



*Imagination is more important than knowledge. [...]
It embraces the entire world, and all there ever will be
to know and understand.*

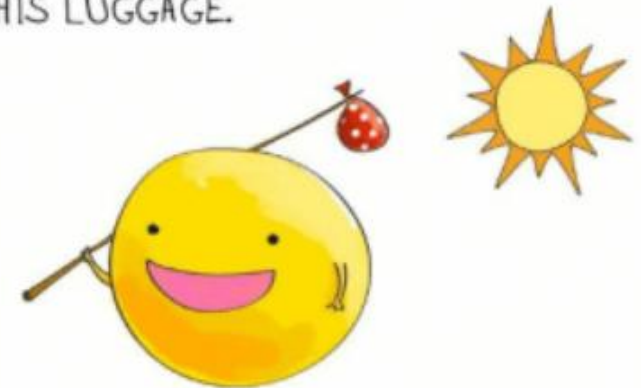
Albert Einstein

Vlnově-částicový dualismus

...aneb naše problémy se světlem

LIGHT IS A
WAVE!

A PHOTON CHECKS INTO A HOTEL AND IS ASKED IF HE NEEDS ANY HELP WITH HIS LUGGAGE.



"NO, I'M TRAVELLING LIGHT."



*The „paradox“ is only a **conflict between reality**
and your feeling of **what reality „ought to be“**.*

Richard Feynman

Vlastnosti vlnění a kuliček (hmotných bodů)

Vlastnosti vlnění a kuliček (hmotných bodů)

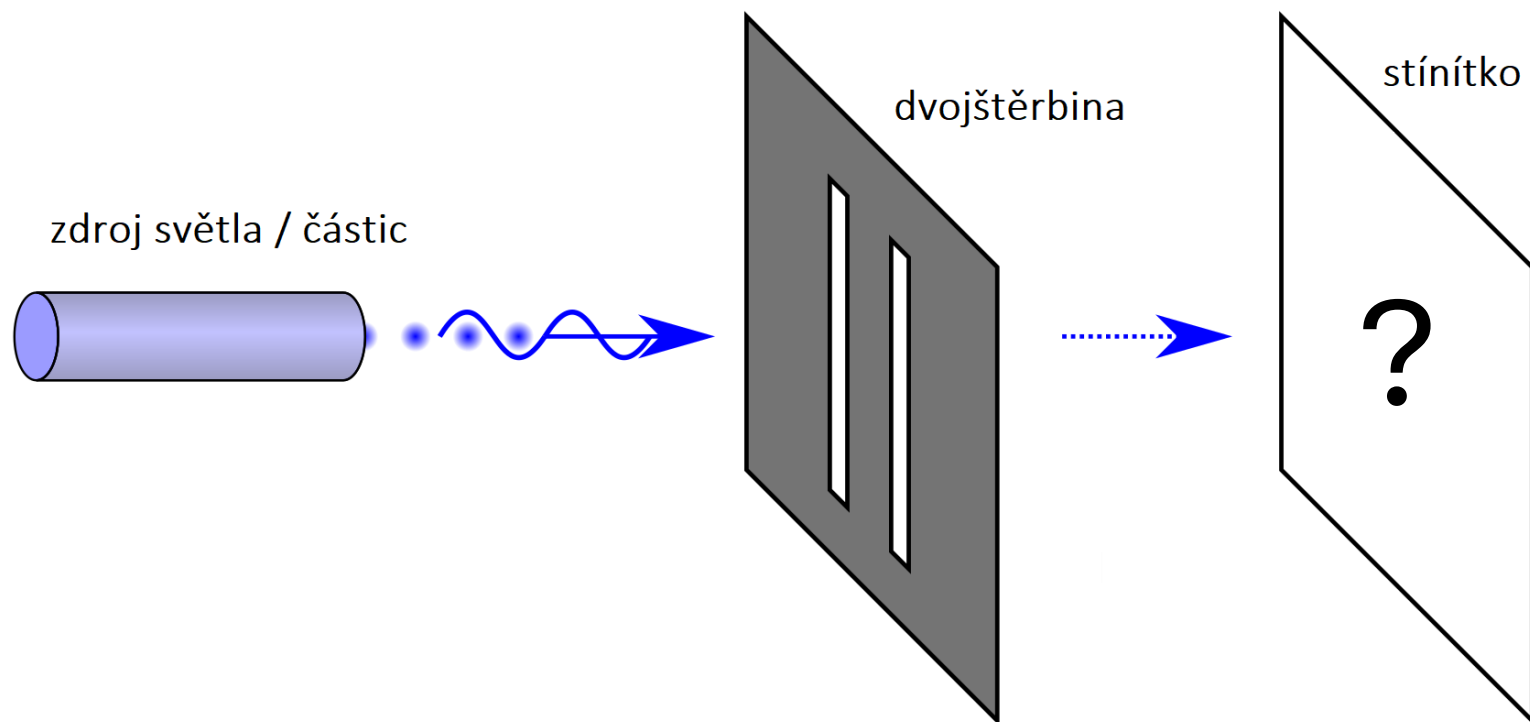
	Vlnění	Kuličky (hmotný bod)
Vlastnosti:		
Lokalizovanost v prostoru:		
Jak přenáší energii:		
Interference:		



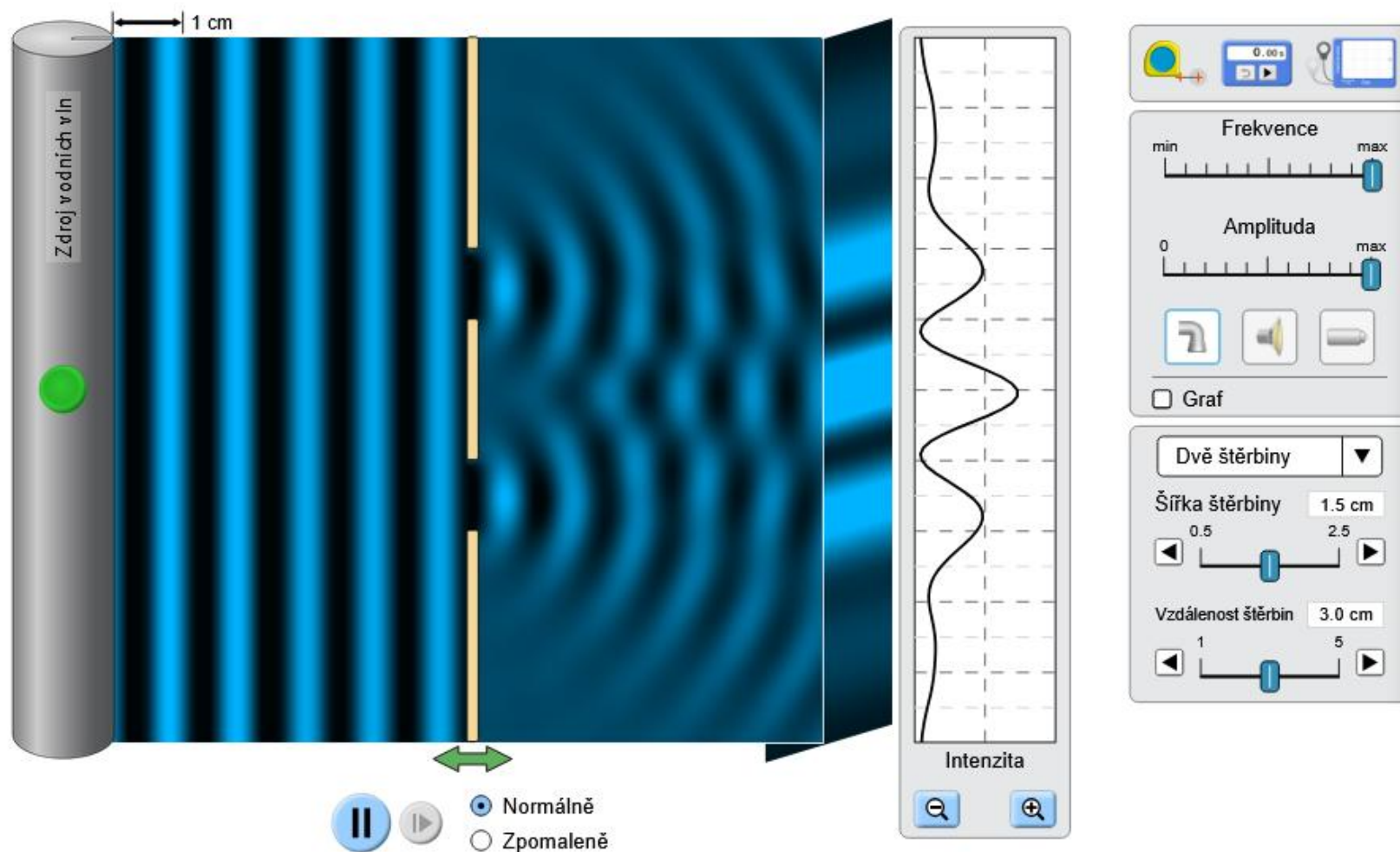
4:45—5:20

<https://www.youtube.com/watch?v=luv6hY6zsd0&t=257s>

Dvojštěrbinový experiment

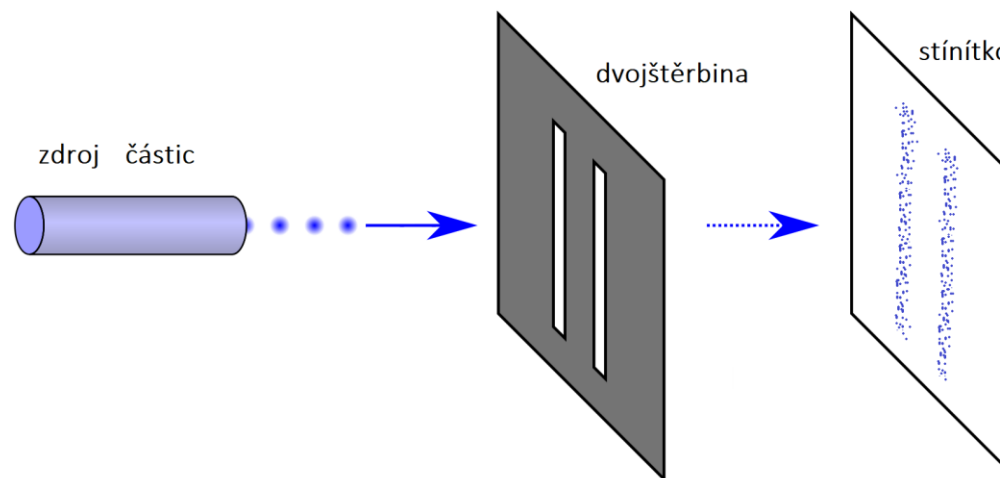


Dvojštěrbinový experiment – vlnění

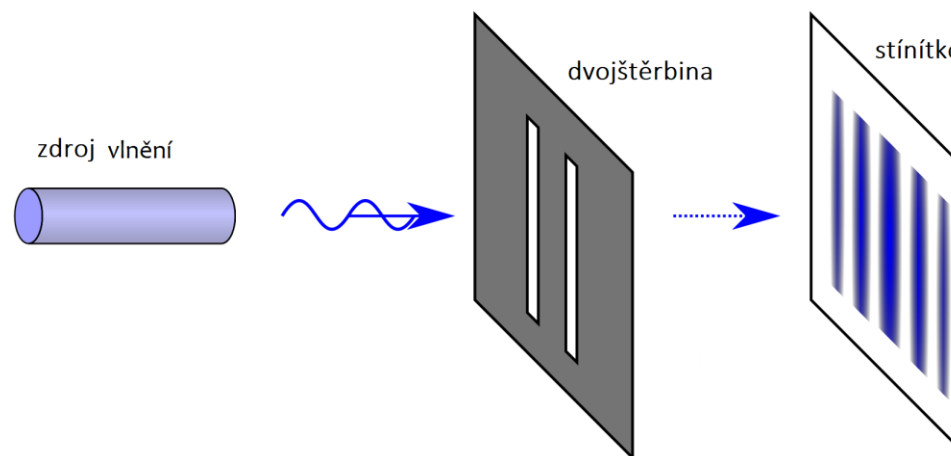


Dvojtěrbinový experiment

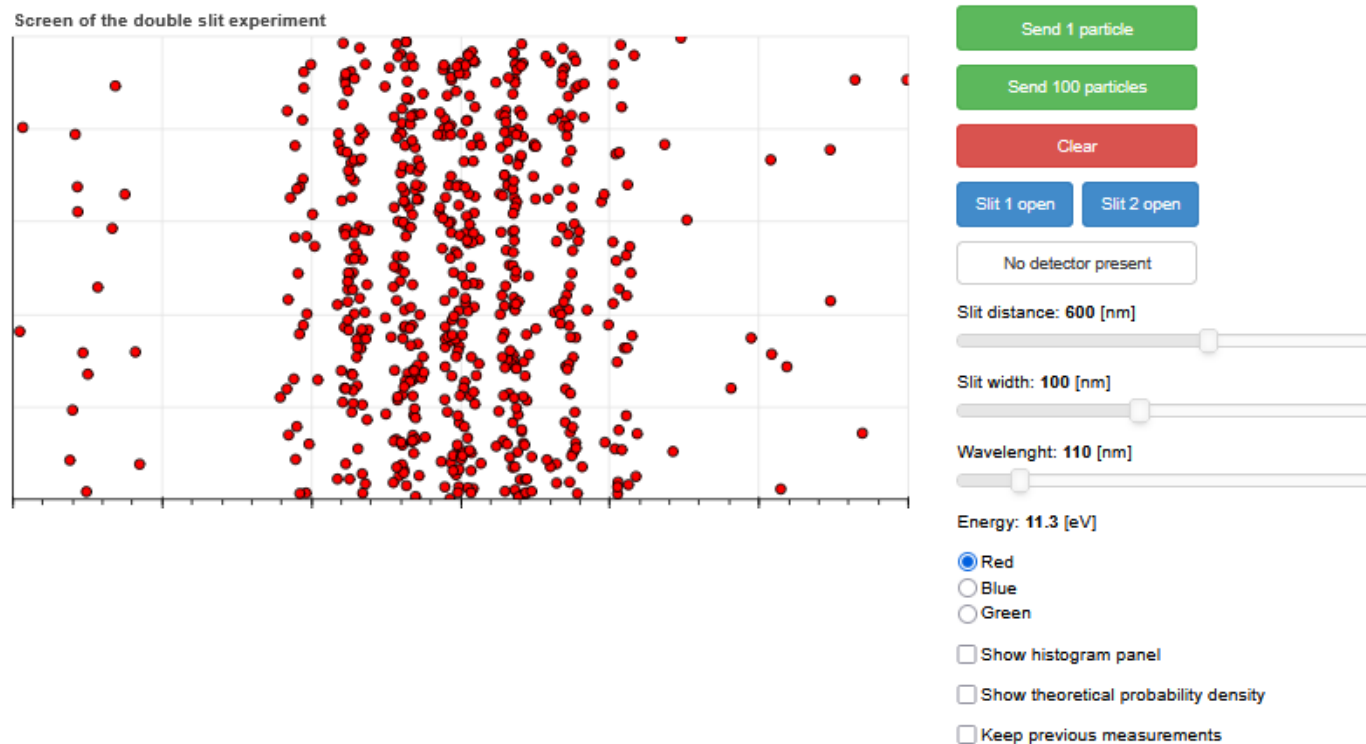
kuličky
(hmotné body)



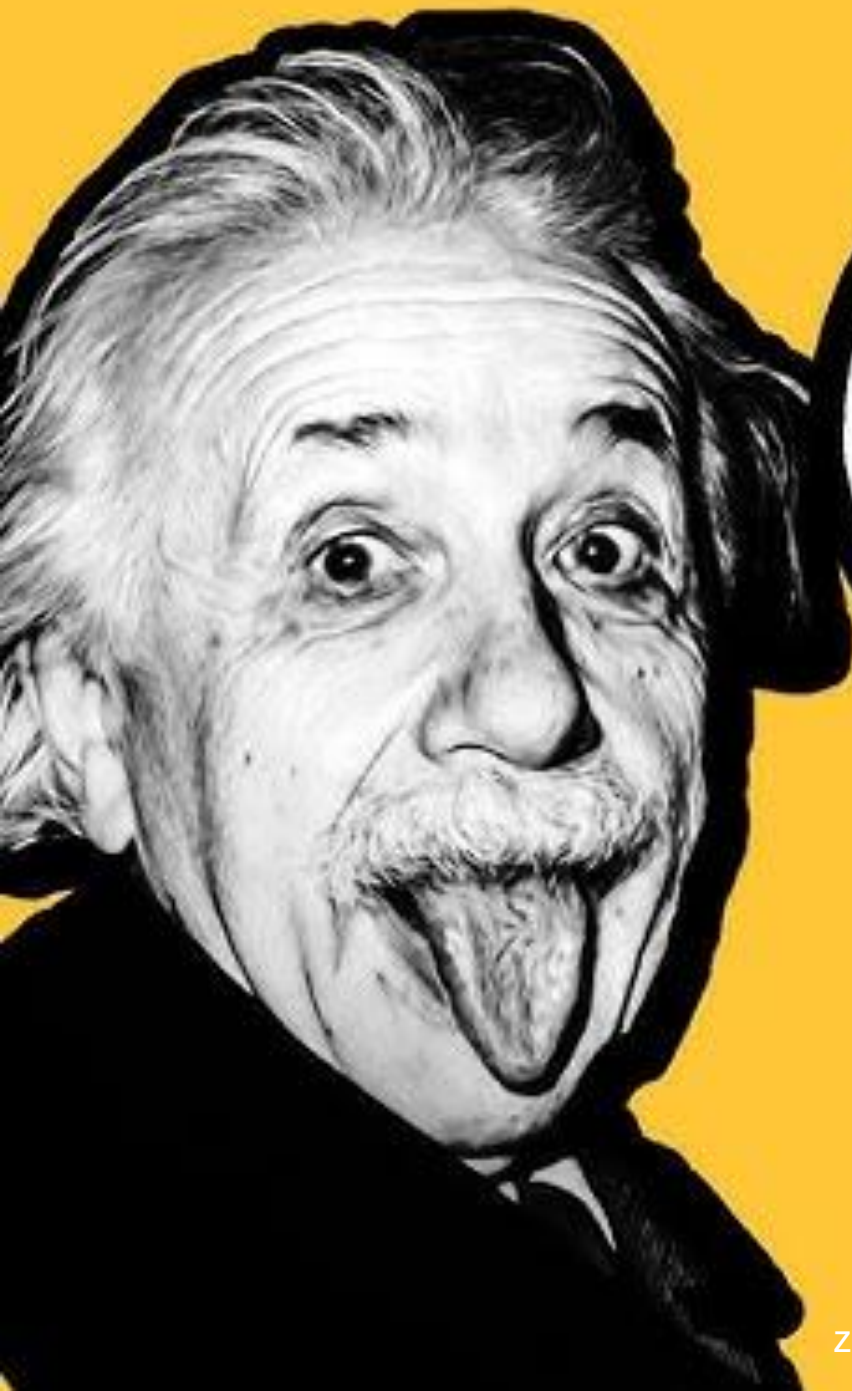
vlnění



Dvojtěrbínový experiment s elektrony



https://fyzweb.cz/materialy/kvantovka/Double_slit_experiment.html



Se kterými výroky studentů souhlasíte? V čem mají pravdu a v čem jsou nepřesné/chybné?

Alice: Elektron má vlnové vlastnosti, protože jsme pozorovali interferenci.

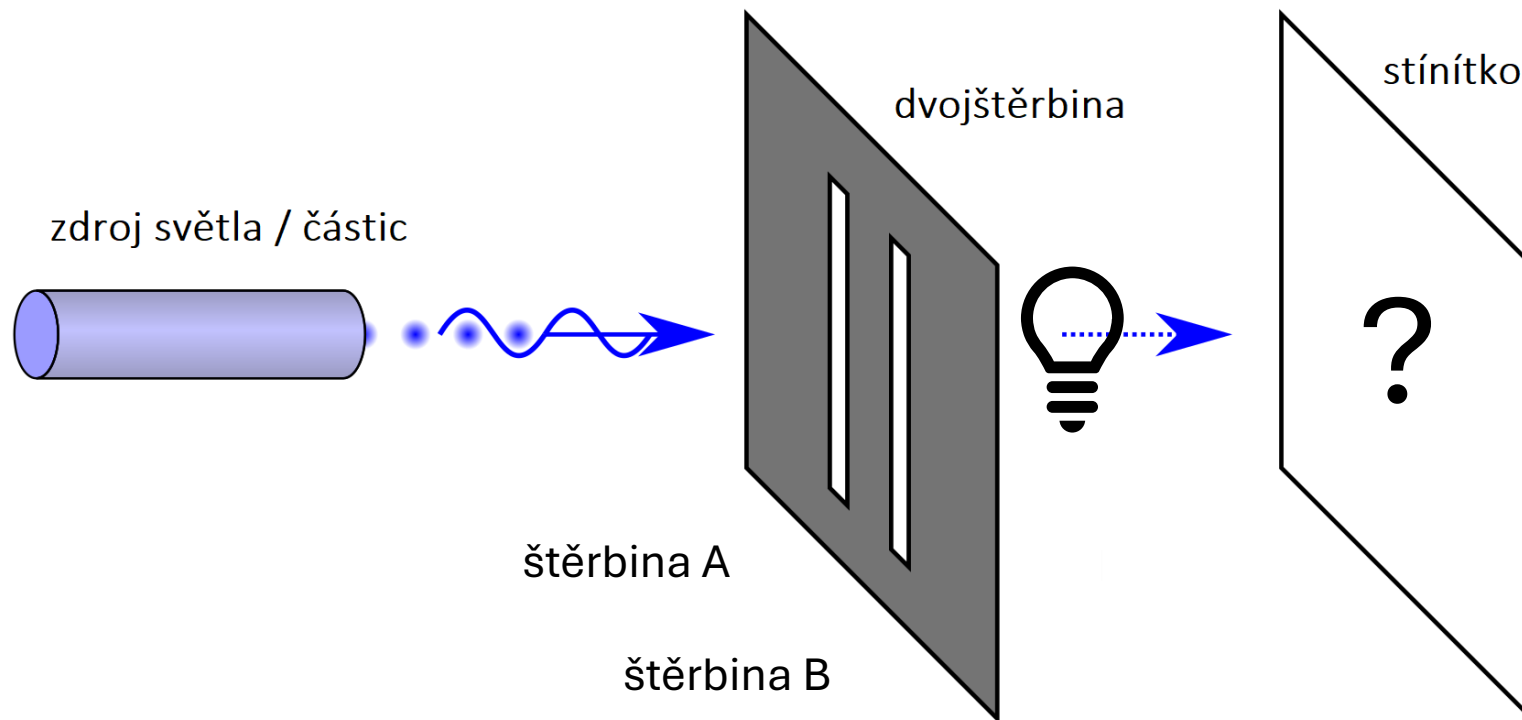
Bořek: Není jisté, jestli má vlnové vlastnosti jeden samotný elektron. Ale když jich skrz dvojštěrbinu pošleme víc najednou, budou spolu interferovat, takže uvidíme interferenční obrazec.

Cyril: Elektron je jasná částice, má přece na stínítku bodovou stopu.

Dorka: Když elektron prochází štěrbinami, je víc jako vlna, protože vytváří interferenci, ale když dopadá na stínítko, stane se částicí.

Elvis: Nejde říct, jestli je elektron vlna nebo částice. Trochu nám připomíná svým chováním obojí, ale není to ani jedno z toho. Je to prostě elektron.

Dvojštěrbinový experiment s detektorem



detektor (zdroj světla – světlo se rozptýlí na elektronech,
my ho pozorujeme v blízkosti štěrby A, nebo B)

https://en.wikipedia.org/wiki/Double-slit_experiment



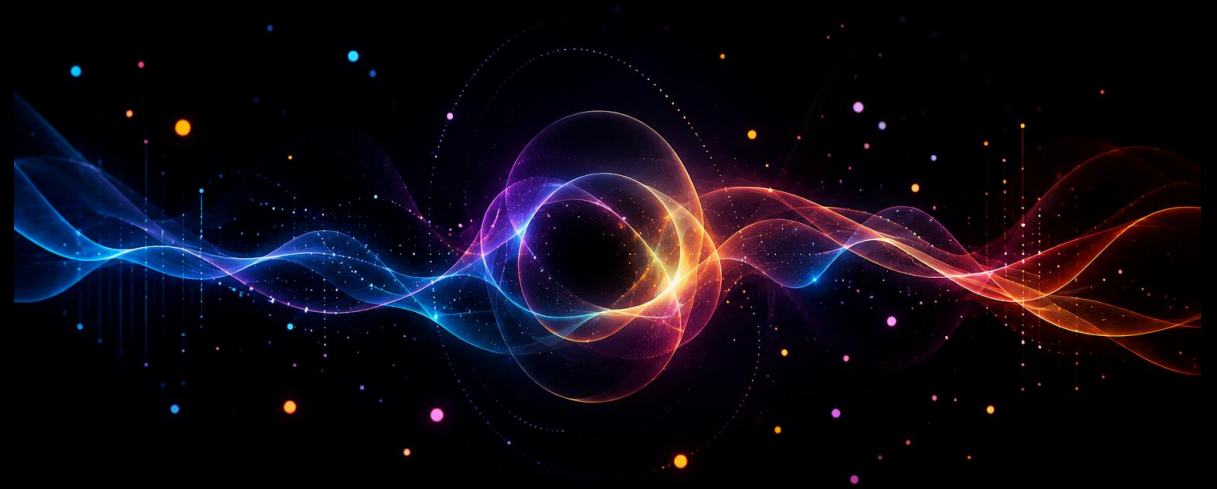
Základní principy kvantové fyziky

Princip superpozice

„schopnost kombinovat více stavů“

Princip kvantového měření.

„změření fyzikální veličiny ovlivní stav systému“

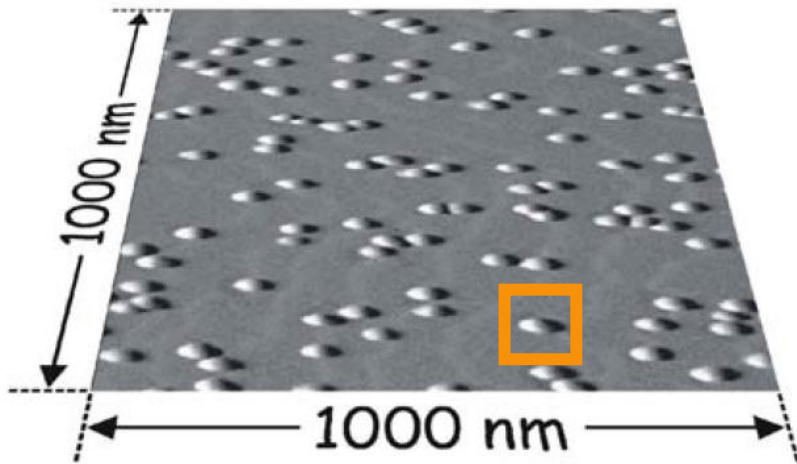


Princip superpozice

kvantové tečky

= malé části prostoru, kde může být částice nalezena

např. atomy hliníku na substrátu GaAs
obrázek ze skenovacího elektronového mikroskopu:



zjednodušení situace



kvantové piškvorky

– hrací plán 3x3

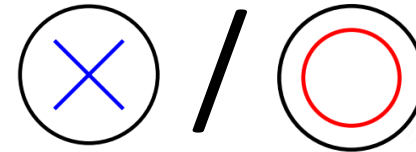
1 pole = tečka, tj. stav,
kde může být částice nalezena)

A	B	C
D	E	F
G	H	I

Princip superpozice – kvantové piškvorky

klasická částice

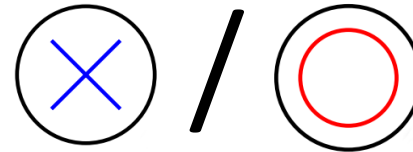
- vždy je v 1 konkrétním stavu (na 1 poli)



Princip superpozice – kvantové piškvorky

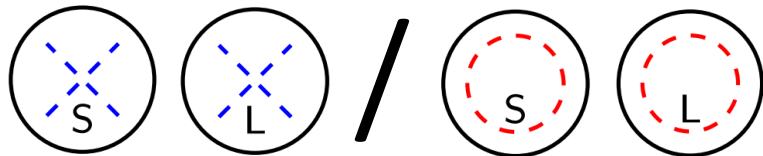
klasická částice

- vždy je v 1 konkrétním stavu (na 1 poli)



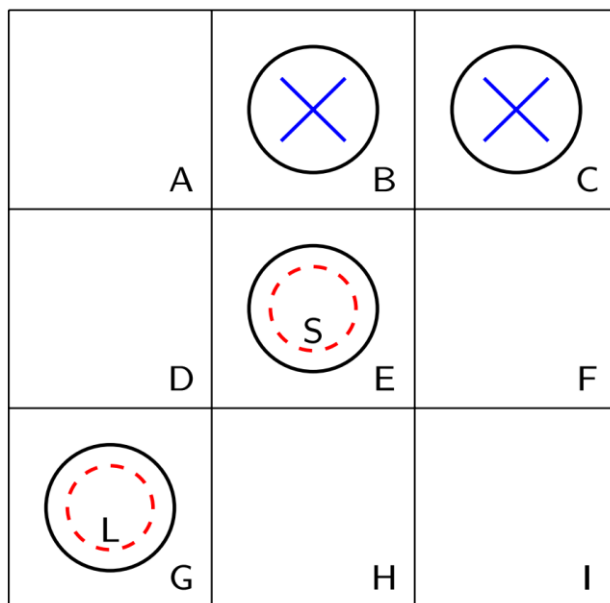
kvantová částice

- může být v superpozici 2 stavů (2 polí)
- na každém poli má 50 % šanci být nalezena



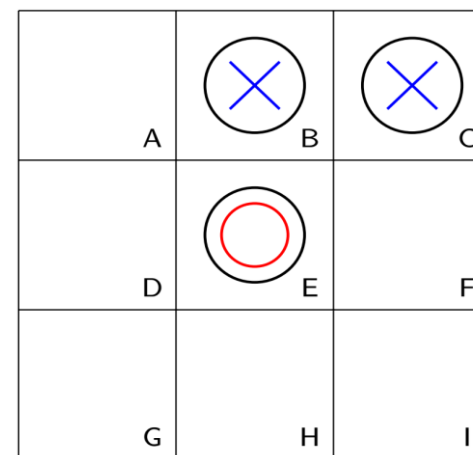
Měření polohy částice – kvantové piškvorky

superpozice stavů E, G

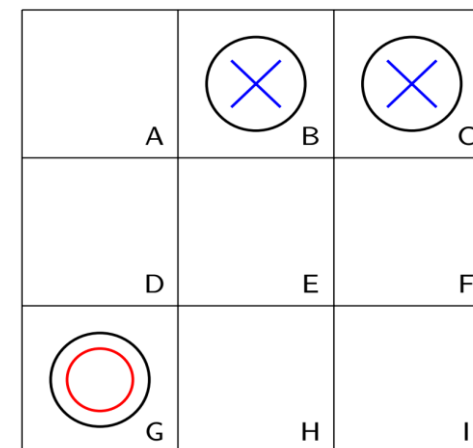


$|\text{stav E}\rangle + |\text{stav G}\rangle$

měření polohy
částice

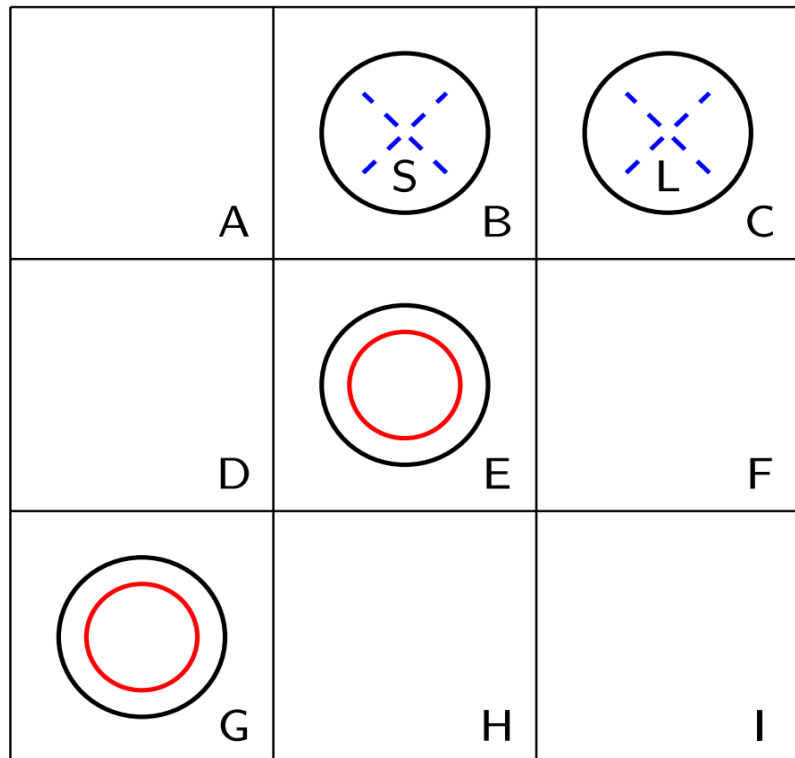


$|\text{stav E}\rangle$



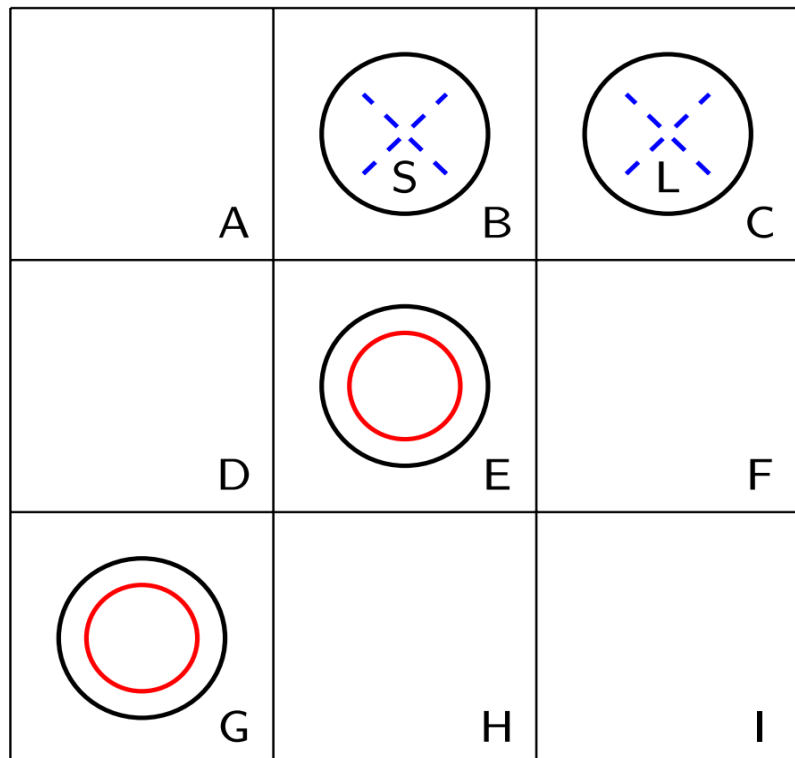
$|\text{stav G}\rangle$

Na kterém políčku se nachází kámen hráče hrajícího za **křížky**?



- A)** Má stejnou možnost být nalezen na poli B i C, ale dokud nezměříme polohu, poloha není definována
- B)** Na poli B
- C)** Na poli C
- D)** Ani na jednom z nich
- E)** V superpozici polí B, C
- F)** Když se zároveň podívám na pole B a C, kámen najdu na obou z nich

V jakém stavu bude kámen hráče hrajícího za **křížky**,
poté, co **změříme polohu kamene**?



- A) Nachází se na poli A
- B) Nachází se na poli B
- C) Nachází se na poli C
- D) Nachází se na obou polích B, C zároveň
- E) Nachází se na poli B, nebo na poli C, ale nelze předem určit, na kterém

Superpozice více stavů s různou vahou

Kvantové lodě

A	B	C
D	E	F
G	H	I

pravděpodobnost nalezení
částice v příslušném stavu



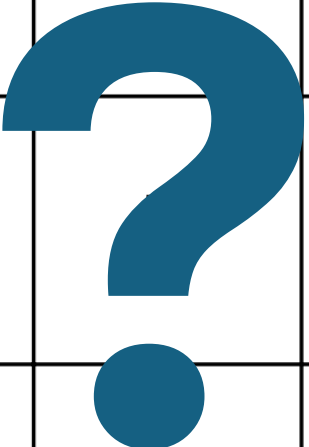
$|\text{stav D}\rangle \dots 60\%$

$|\text{stav E}\rangle \dots 10\%$

$|\text{stav I}\rangle \dots 10\%$

$|\text{stav G}\rangle \dots 20\%$

Jaká je pravděpodobnost naměření jednotlivých stavů v neznámé superpozici?

A	B	C
D		F
G	H	I

$|\text{stav A}\rangle \dots ?$

$|\text{stav B}\rangle \dots ?$

...

$|\text{stav I}\rangle \dots ?$

Obrázek ukazuje počáteční stav kvantové lodě. Vyberte všechny možnosti, které zobrazují **možný stav po změření polohy lodě**.

A	B	C
D	E	F
G	H	I

A)

A	B	C
D	E	F
G	H	I

B)

A	B	C
D	E	F
G	H	I

C)

A	B	C
D	E	F
G	H	I

D)

A	B	C
D	E	F
G	H	I

E)

A	B	C
D	E	F
G	H	I

F)

A	B	C
D	E	F
G	H	I

Který výsledek měření je **nejpravděpodobnější**?

A	B	C
D	E	F
G	H	I

A)

A	B	C
D	E	F
G	H	I

B)

A	B	C
D	E	F
G	H	I

C)

A	B	C
D	E	F
G	H	I

D) Všechny výsledky
B, C, E, G jsou stejně
pravděpodobné

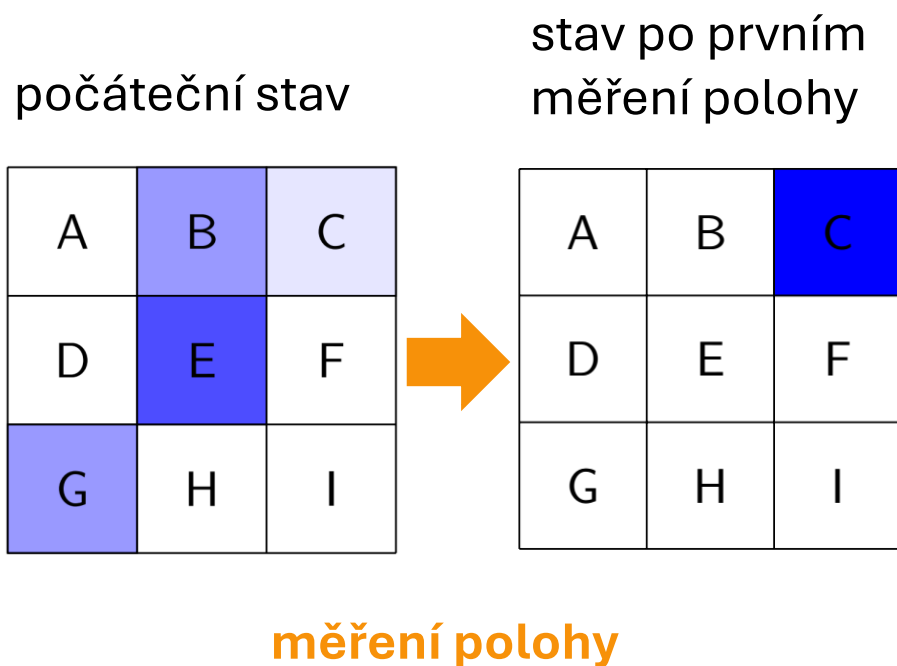
E)

A	B	C
D	E	F
G	H	I

Provedli jsme **jedno měření polohy lodě**. Jakou informaci jsme tím získali o jejím **původním superponovaném stavu**?

Kolik měření bychom museli provést, abychom přesně určili
původní superponovaný stav kvantové lodě?

Změřili jsme polohu kvantové lodě a **naměřili jsme výsledek C**. Na této lodi (která je nyní ve stavu C) **měření polohy ještě jednou zopakujeme**. Jaké jsou možné výsledky měření?



A)

A	B	C
D	E	F
G	H	I

B)

A	B	C
D	E	F
G	H	I

C)

A	B	C
D	E	F
G	H	I

D)

A	B	C
D	E	F
G	H	I

E)

A	B	C
D	E	F
G	H	I

F)

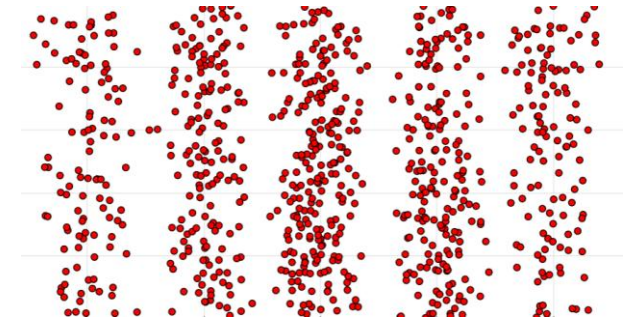
A	B	C
D	E	F
G	H	I

Znova dvojštěrbinový experiment

superpozice dvou stavů („vln“)

$$|e^- \text{ prošel štěrbinou A} \rangle + |e^- \text{ prošel štěrbinou B} \rangle$$

interference na stínítku



Znova dvojštěrbinový experiment

superpozice dvou stavů („vln“)

$$|e^- \text{ prošel štěrbinou A} \rangle + |e^- \text{ prošel štěrbinou B} \rangle$$

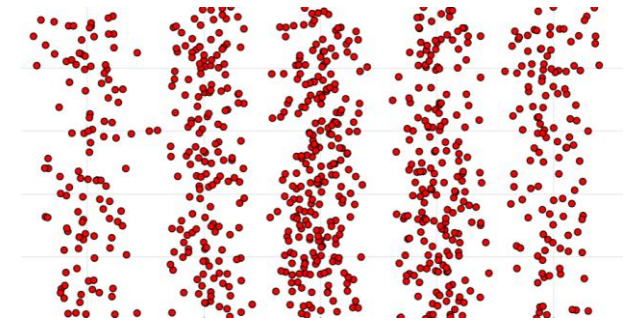
detektor redukuje superpozici na 1 stav („1 vlnu“)

$$|e^- \text{ prošel štěrbinou A} \rangle$$

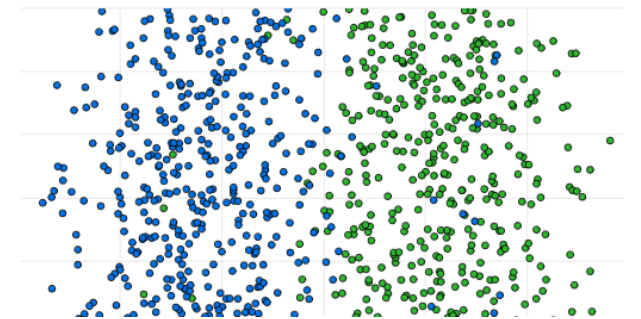
nebo

$$|e^- \text{ prošel štěrbinou B} \rangle$$

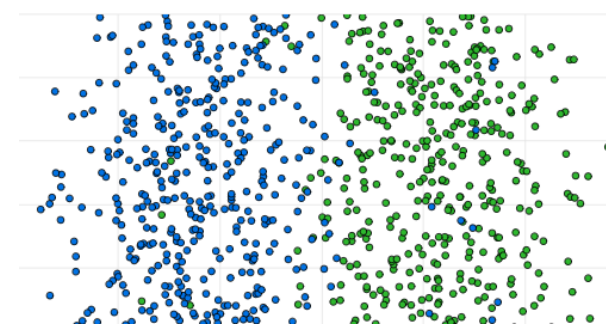
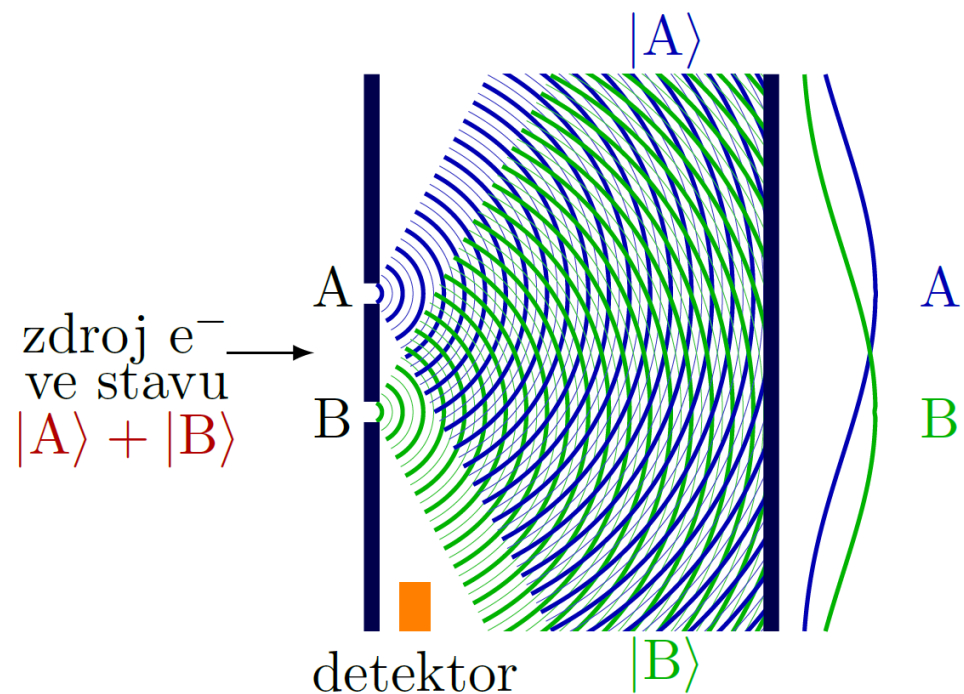
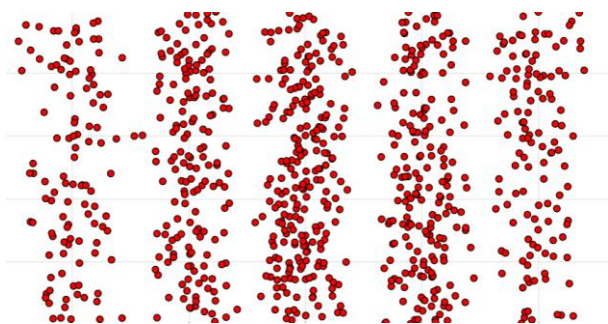
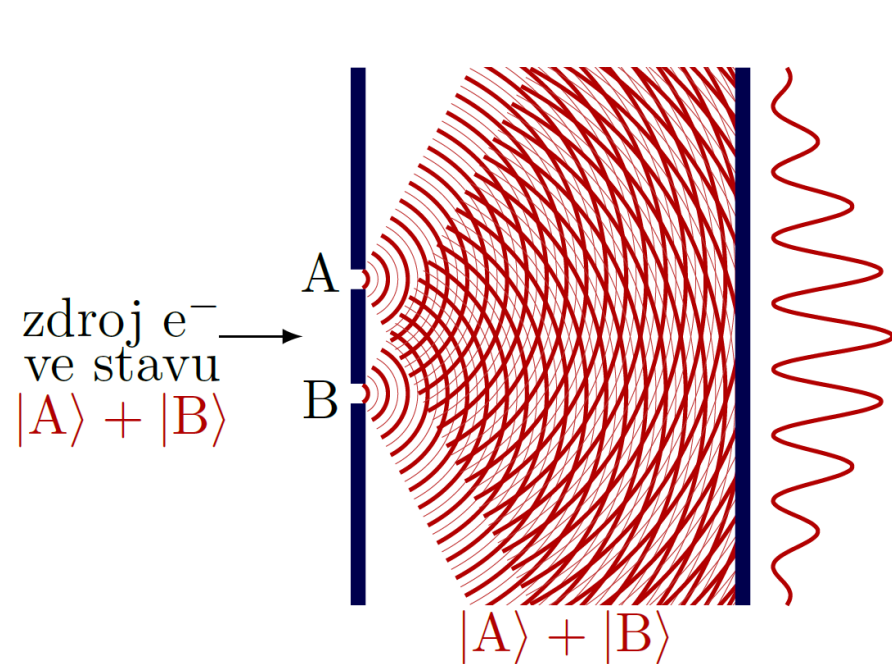
interference na stínítku



interference je zrušena

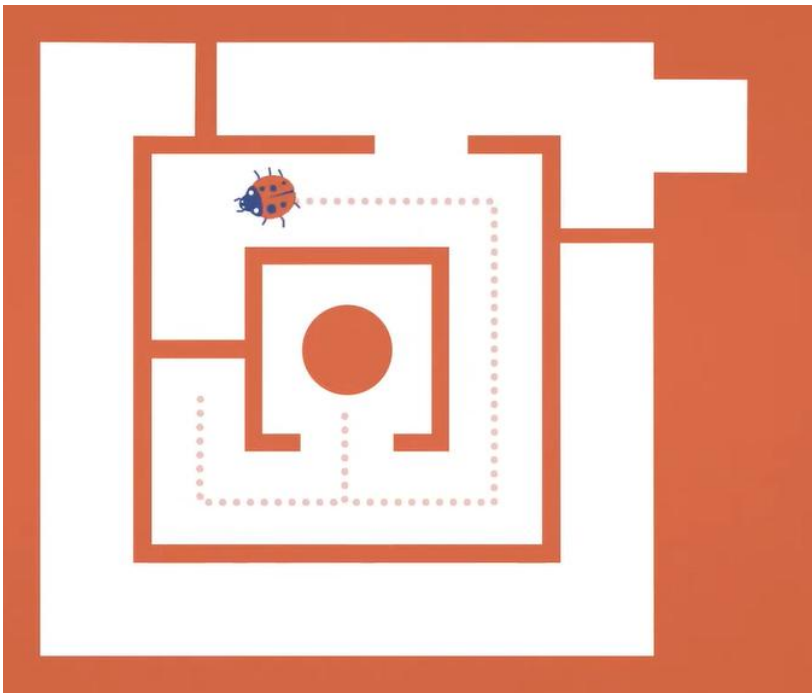


Znova dvojštěrbinový experiment

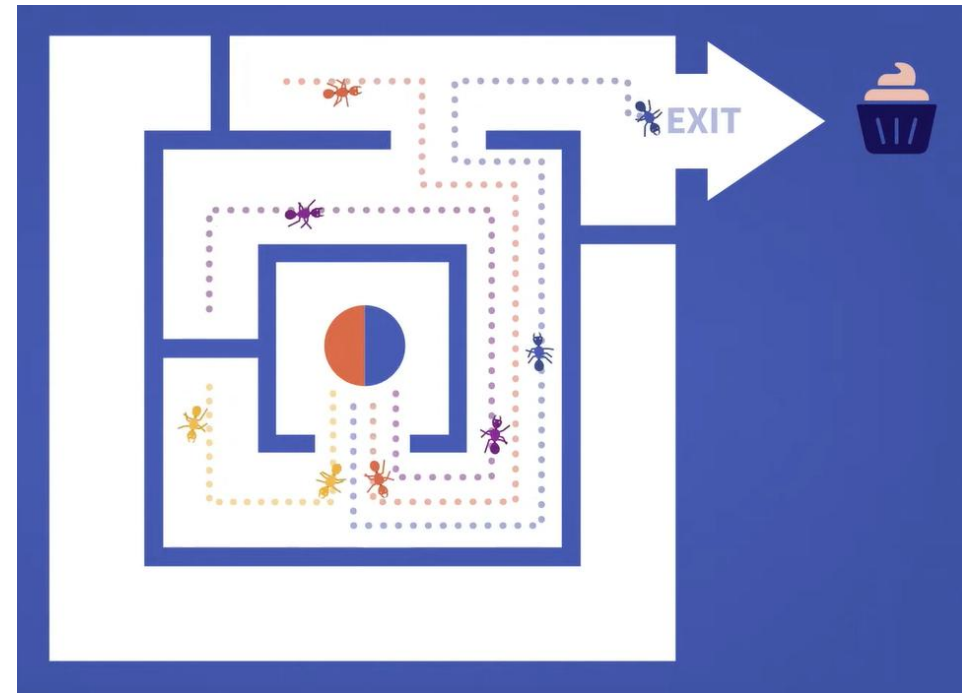


Jak využívají superpozici kvantové počítače?

klasické vyhledávání



kvantové vyhledávání



<https://www.youtube.com/watch?v=eGYuTuTxoJE> 0:40–3:10