

Jméno: **Krapivin Denis** Kolega: **Roman Jnovčík**

Datum měření: **15.05.2025** Klasifikace:

1 Pracovní úkoly

- Sestavte experiment podle pokynů. Při sestavování dbejte na stejnou délku levé a pravé dráhy svazku. Při úspěšném sestavení by interferenční obrazce měly být viditelné na obou stínítkách. Prozatím nepoužívejte polarizátory.
- Do obou ramen interferometru přidejte polarizátory tak, aby jejich orientace byla stejná. Měli byste tedy i po jejich přidání stále pozorovat interferenční obrazce. Diskutujte důvod vzniku interferenčního obrazce. Vznikl by tento obrazec i při teoretickém průchodu pouze jednoho fotonu systémem? Proč, popř. proč ne?
- Otočte jeden z polarizátorů o 90° . Popište a zdůvodněte pozorovaný jev na stínítkách.
- Ponechte nastavení experimentu z předchozího úkolu. Přidejte třetí polarizátor mezi jedno ze stínítek a rozdělovač svazku. Orientace tohoto polarizátoru by měla být otočena o 45° vůči oběma polarizátorům v ramenech interferometru. Na stínítku s přidaným polarizátorem (který funguje jako “kvantová guma”) by se opět měl objevit interferenční obrazec. Proč se tento obrazec objeví zatím co na druhém stínítku ne?

2 Pomůcky

Laser (532 nm), 5 V DC napájení pro laser, lineární polarizátory, zrcátka, rozdělovače svazku, čočka (ohnisková vzdálenost 75 mm), stínítka, krystal s ryskou.

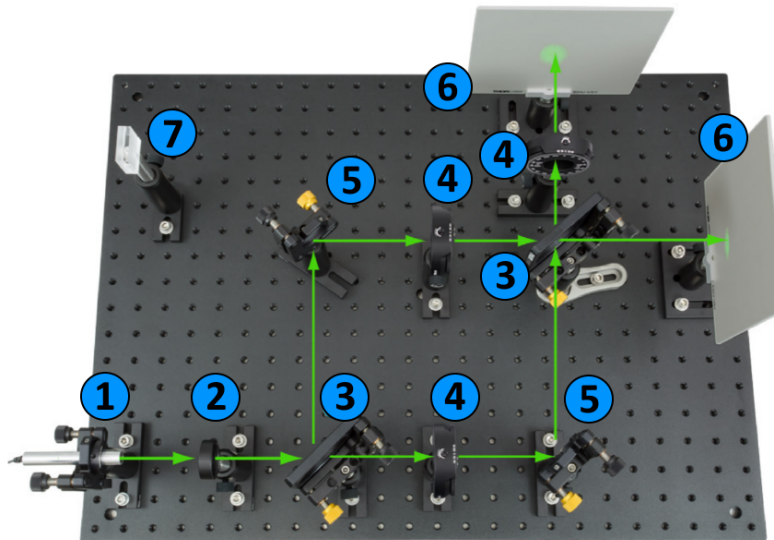
3 Teoretický úvod

Kvantový systém, například dvouštěrbinový experiment, se nachází v superpozici všech možných stavů, kdy foton může projít levou nebo pravou štěrbínou. Tento stav lze popsat vlnovou funkcí systému. Pokud nezískáme žádnou informaci o průchodu fotonu, na stínítku se projeví interferenční obrazec, který je důsledkem vlnového chování. Jestliže zjistíme, kterou štěrbínou foton prošel, vlnová funkce se redukuje a interference zmizí. Vložení třetího zařízení, například polarizátoru, které „smaže“ informaci o cestě, navrátí systém do superpozice. Tento polarizátor se proto nazývá kvantová guma. Po jeho vložení se na stínítku opět objeví interferenční obrazec, i když předtím byla zjištěna cesta fotonu.

Princip ukazuje, že kvantový systém nemá pevně určenou povahu (vlna nebo částice) dokud není provedeno měření. Informace o průchodu fotonu určuje, zda se interference projeví či nikoliv. Klasický „mazací“ efekt kvantové gumy ukazuje, že odstranění informace umožňuje znovu pozorovat koherentní překryv. Tento efekt lze demonstrovat experimentálně pomocí laseru, děliče svazku a sady polarizátorů. Polarizátory slouží jak k označení cesty fotonu, tak k vymazání této informace a obnovení interference.

4 Postup měření

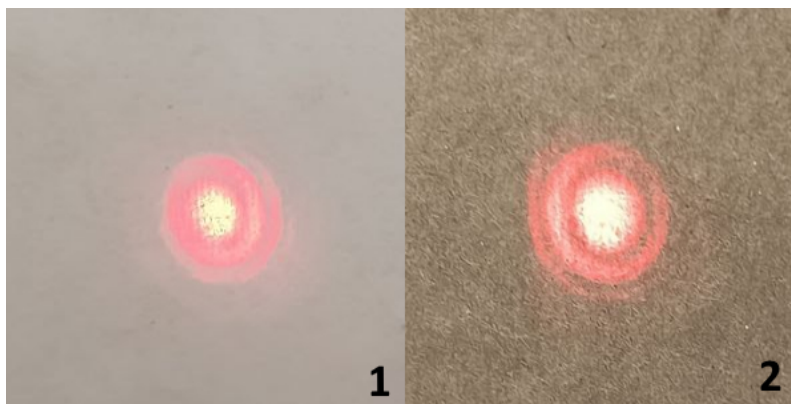
Nejprve jsme na okraj optického stolu uchytili laser jako zdroj fotonů (1 na Obr. 1). Pomocí krystalu s ryskou (7 na Obr. 1) jsme nastavili svazek laseru do vodorovné polohy – toto nastavení bylo důležité pro přidávání dalších komponent.



Obr. 1: Schéma pro demonstraci kvantového mazání: 1 – laser jako zdroj fotonů, 2 – čočka pro zaostření, 3 – rozdělovač svazku, 4 – polarizátory, 5 – zrcátka, 6 – stínítka, 7 – krystal s ryskou pro kalibraci paprsku.

Následně jsme na stůl postavili stojan se zrcátkem (5 na Obr. 1) přibližně ve vzdálenosti 2–3 délky stolu, aby zrcátko odráželo svazek pod úhlem 90° vzhledem k původní dráze. Po nastavení správného úhlu jsme stojan fixovali a jemně upravili polohu laseru na krystalu pomocí citlivých šroubů stojanu, dokud svazek nebyl přesně vodorovný.

Poté jsme nastavili levé rameno interferometru. Nejprve jsme vložili rozdělovač svazku (3 na Obr. 1) mezi zdroj laseru a zrcátko pravého ramene. Rozdělovač propustil část svazku v původním směru a část odrážel do levého ramene. Pro správné fungování interferometru jsme zajistili, aby odražený svazek byl pod úhlem 90° a vzdálenosti mezi rozdělovačem a zrcátky levého a pravého ramene byly stejné.



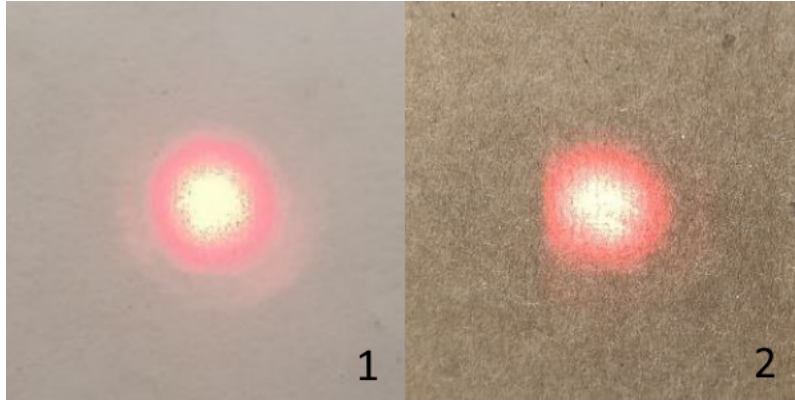
Obr. 2: Interferenční obrazce pozorované na dvou stínítkách v experimentu kvantového mazání. Levý obrázek (1) zobrazuje interferenci na prvním stínítku, pravý obrázek (2) na druhém stínítku.

Dále jsme do levého ramene přidali zrcátko pro navrácení svazku do vodorovného směru. Pro jemné doladění jsme použili otáčení šroubů rozdělovače a upravili polohu zrcátek, aby se body dopadu na stínítka (6 na Obr. 1) přesně překrývaly. Úspěch jsme poznali podle překrytí bodů a jejich nepatrného jiskření.

Po přesném nastavení levého ramene jsme přidali čočku pro zaostření (2 na Obr. 1) mezi zdroj laseru a první rozdělovač. Na stínítkách jsme pozorovali interferenční obrazce (Obr. 2).

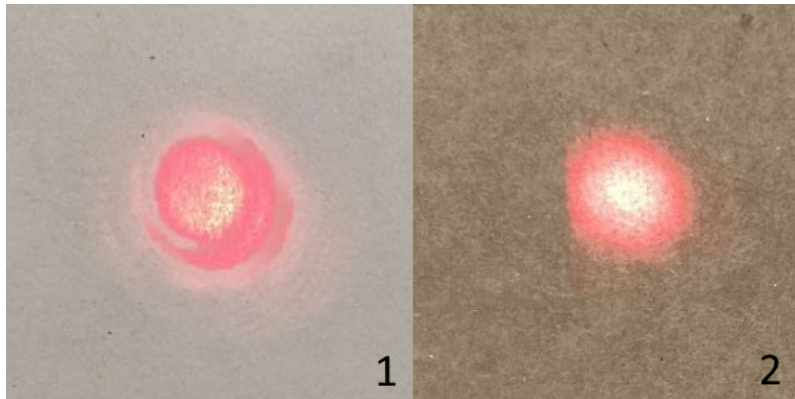
Místo prvního stínítka jsme použili bílý list papíru, místo druhého stínítka stěnu kartonové krabice; pro jednoduchost je budeme dále nazývat první a druhé stínítko.

Do obou ramen interferometru jsme přidali polarizátory (4 na Obr. 1) tak, aby jejich orientace byla stejná. I po jejich přidání jsme stále pozorovali interferenční obrazce na prvním a druhém stínítku. Následně jsme jeden z polarizátorů otočili o 90° a interferenční obrazce zmizely na obou stínítkách (Obr. 3).



Obr. 3: Interferenční obrazce pozorované na dvou stínítkách v experimentu kvantového mazání po otočení jednoho polarizátoru o 90° . Levý obrázek (1) zobrazuje stav na prvním stínítku, pravý obrázek (2) na druhém stínítku; v obou případech interferenční obrazce zmizely.

Přidali jsme třetí polarizátor mezi první stínítko a rozdělovač svazku. Orientace tohoto polarizátoru byla otočena o 45° vůči oběma polarizátorům v ramenech interferometru. Na stínítku s přidaným polarizátorem, který fungoval jako „kvantová guma“, se opět objevil interferenční obrazec, zatímco na druhém stínítku interference nepozorovali (Obr. 4).



Obr. 4: Interferenční obrazce pozorované na dvou stínítkách v experimentu kvantového mazání po přidání třetího polarizátoru otočeného o 45° . Levý obrázek (1) zobrazuje stav na prvním stínítku s přidaným polarizátorem, kde se interferenční obrazec znovu objevil, pravý obrázek (2) na druhém stínítku, kde interference zůstala nepozorována.

5 Diskuze

Nejprve si rozebereme situaci, kdy byly polarizátory v obou ramenech interferometru orientovány stejně. Interferenční obrazec (Obr. 2) vznikl díky koherenci dvou cest fotonů v interferometru. Když jsou polarizátory v obou

ramenech orientovány stejně, nedochází k rozlišování, kterou cestou foton prošel, takže amplitudy z obou cest se sčítají a vzniká interferenční vzor na stínítkách.

Teoreticky by interferenční obrazec vznikl i při průchodu jediného fotonu systémem. I když foton je částice, jeho kvantový stav je superpozicí obou cest v interferometru. Dokud není proveden měřicí zásah, který by určil cestu fotonu, amplitudy obou možností se sčítají a detektor (stínítko) zaznamená pravděpodobnostní rozložení, které odpovídá interferenčnímu vzoru. Jinými slovy, interference je projevem kvantové superpozice, ne kolektivního chování mnoha fotonů. To znamená, že i jednotlivý foton může interferovat sám se sebou, pokud není známo, kterou cestou prošel.

Po otočení jednoho z polarizátorů o 90° se na stínítkách přestaly objevovat interferenční obrazce (Obr. 3). Tento jev lze vysvětlit tím, že amplitudy fotonů z obou ramen interferometru se již nemohly koherentně sčítat, protože polarizátory nyní rozlišovaly cestu fotonu – každá dráha měla odlišnou polarizaci.

V kvantově-mechanickém pojetí se tímto způsobem získala informace o „kterou cestou“ foton prošel. Jakmile je tato informace dostupná, interferenční vzor zmizí, protože superpozice cest je zrušena. Jinými slovy, při orientaci polarizátorů pod úhlem 90° došlo k dekoherenci mezi rameny interferometru, což znemožnilo vznik interferenčního obrazce, a proto jsme na stínítkách viděli pouze rovnoměrné rozložení světla bez interferenčních proužků.

Po přidání polarizátoru mezi první stínítko a rozdělovač svazku, jehož orientace byla otočena o 45° vůči polarizátorům v ramenech interferometru, jsme na stínítku s tímto polarizátorem pozorovali obnovu interferenčního obrazce, zatímco na druhém stínítku interference nepozorovali (Obr. 4).

Přidaný polarizátor odstranil informaci o tom, kterou cestou foton prošel – polarizace fotonů z levého a pravého ramene se nyní stala nespecifickou vůči původním polarizátorům. Díky tomu se amplitudy opět koherentně sčítaly a interferenční obrazec se objevil na stínítku s přidaným polarizátorem.

Na druhém stínítku, kde polarizátor nebyl přidán, informace o cestě zůstala zachována, takže superpozice cest zůstala rozlišitelná a interferenční obrazec se neobjevil. Jinými slovy, kvantová guma vymazala informaci o cestě fotonu jen pro cestu vedoucí k přidanému polarizátoru, což umožnilo interferenci pouze na tomto stínítku.

6 Závěr

V rámci experimentu jsme nejprve sestavili interferometr a nastavili stejnou délku levé a pravé dráhy svazku. Při úspěšném sestavení byly interferenční obrazce viditelné na obou stínítkách (Obr. 2). V diskuzi jsme vysvětlili, že i při průchodu jediného fotonu by teoreticky vznikl interferenční obrazec.

Po otočení jednoho z polarizátorů o 90° interferenční obrazce zmizely na obou stínítkách (Obr. 3), protože polarizátory nyní umožňovaly určit cestu fotonu, čímž se zrušila koherence.

Nakonec jsme přidali třetí polarizátor (kvantovou gumu) mezi jedno stínítko a rozdělovač svazku, otočený o 45° . Na stínítku s tímto polarizátorem se interferenční obrazec znovu objevil, zatímco na druhém stínítku ne (Obr. 4), protože třetí polarizátor odstranil informaci o cestě pouze pro svazek vedoucí k němu.