

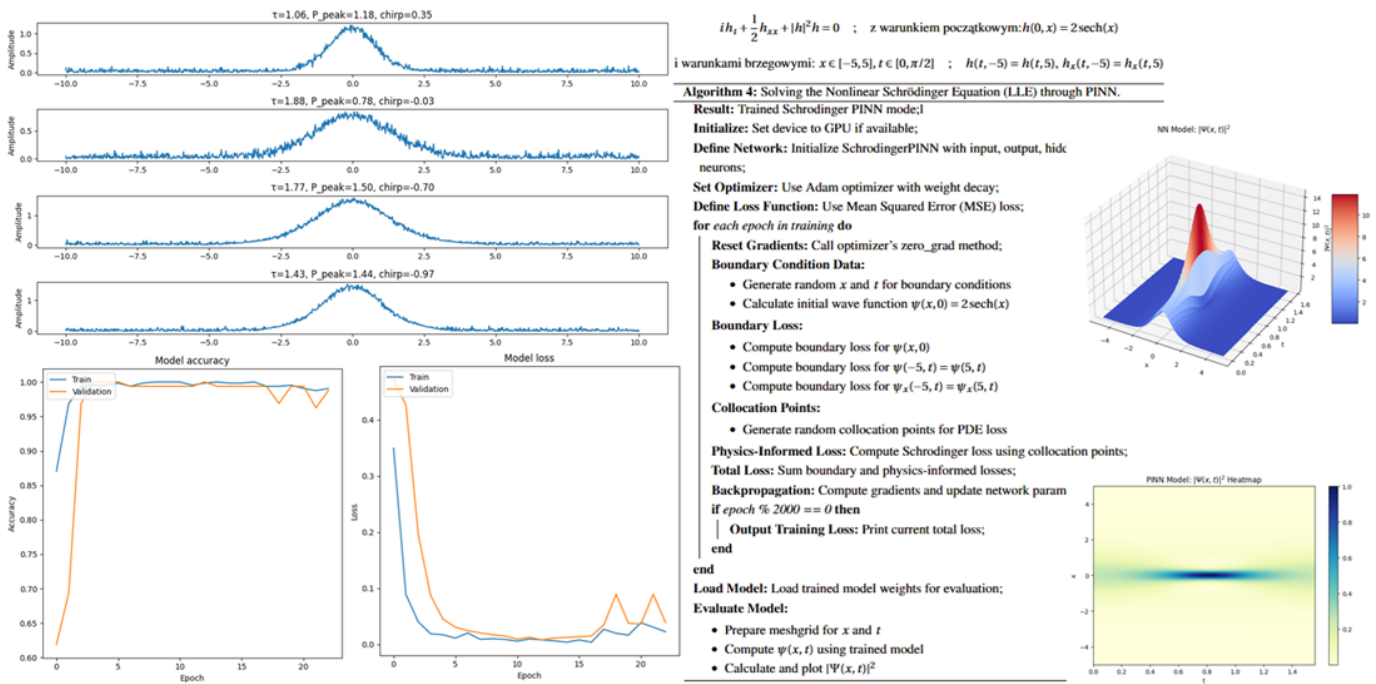
Klasyfikacja maszynowa solitonów jasnych w celu zwiększenia efektywności transmisji informacji kwantowej w protokole ślepych obliczeń kwantowych

Hubert Kołcz^{1 †}

¹ Wydział Fizyki, Politechnika Warszawska, Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

[†] email: hubert.kolcz.dokt@pw.edu.pl

Bezpośrednią konsekwencją usunięcia szumu technicznego jest poprawa jakości sygnału. Ponieważ proces stabilizacji wymaga ciągłej adaptacji, kalibracja parametrów transmisji z wykorzystaniem metod uczenia maszynowego może okazać się niezbędna. Dynamikę mikrogrzebienia typowo modeluje się analitycznie za pomocą równania Lugiato-Lefevera, zakładając znajomość kluczowych parametrów lasera pompującego (moc pompy, polaryzacja) oraz wnęki (współczynnik Q, dyspersja prędkości grupowej, współczynnik sprzężenia i efektywna nieliniowość). Przy ustalonej mocy pompy, formowanie grzebienia solitonowego jest w dużej mierze determinowane przez parametry wnęki rezonansowej. Uzyskanie rozwiązania analitycznego zazwyczaj wymaga ręcznego wyodrębnienia tych wartości z liniowego widma transmisji. Proces ten wprowadza złożoność oraz nieuchronne błędy, szczególnie w przypadku wyższej dyspersji, krzyżowania się modów oraz współczynnika Q zależnego od długości fali. Co więcej, w przypadku wielomodowych wnęk optycznych, takich jak rezonatory Fabry’ego-Perota, analityczne uchwycenie generacji grzebienia staje się trudniejsze ze względu na zwiększoną złożoność parametryczną. Dodatkową wadą tych symulacji są zmieniające się parametry sprzętowe w warunkach laboratoryjnych, które za każdym razem wymagają przeprogramowania algorytmu. Jednokrotne uruchomienie symulacji na komputerze osobistym może zająć nawet kilka godzin. To skłoniło do rozważenia metod wykorzystujących Physics-Informed Neural Networks, gdzie czas pojedynczego wywołania sieci – po jej wcześniejszym wytrenowaniu – ogranicza się do kilku minut. Mikrogrzebienie Kerra charakteryzują się koherentnie oscylującymi falami elektromagnetycznymi na wielu liniach spektralnych, z których każda zawiera miliony fotonów lub więcej. Dzięki zastosowaniu metod stabilizacji wykazują koherencję fazową między liniami spektralnymi, co skutkuje ich wysoką stabilnością. W rezultacie znajdują szerokie zastosowanie w metrologii, spektroskopii oraz inżynierii kwantowej. Szczególnym przypadkiem są jasne solitony, które dzięki swojej stabilności i odporności na zaburzenia stanowią obiecujące medium do przesyłania informacji kwantowej. Nawet przy osłabieniu mocy grzebienia poszczególne fotony zachowują swoją fazę spektralną oraz kształt impulsu czasowego, co czyni je odpowiednimi do wykorzystania w protokołach komunikacji kwantowej. W tym kontekście opracowano sieć neuronową służącą do klasyfikacji jasnych solitonów jako potencjalnych nośników informacji kwantowej w protokole BQC. Klasyfikator wykorzystuje właściwości impulsów w domenie częstotliwości – takie jak amplituda, faza, szerokość impulsu i jitter – aby ocenić ich zdolność do kodowania informacji kwantowej. Wynik tych badań przedstawia Rysunek 1.



Rysunek 1: Generowanie solitonów za pomocą syntetycznej dystrybucji Poissona i QPINNs oraz ich klasyfikacja.