

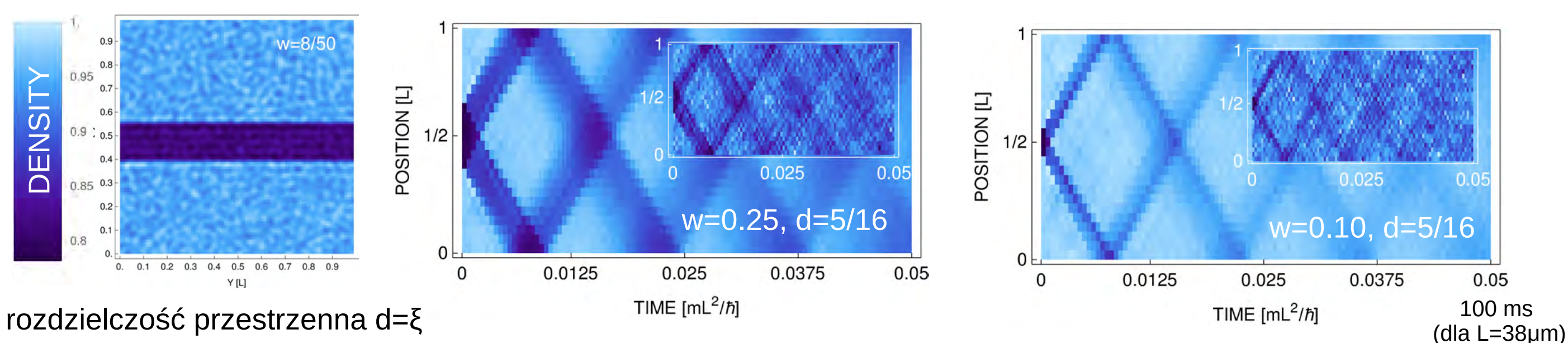
Propagacja dźwięku w jednorodnym, dwuwymiarowym kondensacie Bosego-Einsteina

Krzysztof Gawryluk, Mirosław Brewczyk
WYDZIAŁ FIZYKI, UNIwersytet w BIAŁYMSTOKU

2020

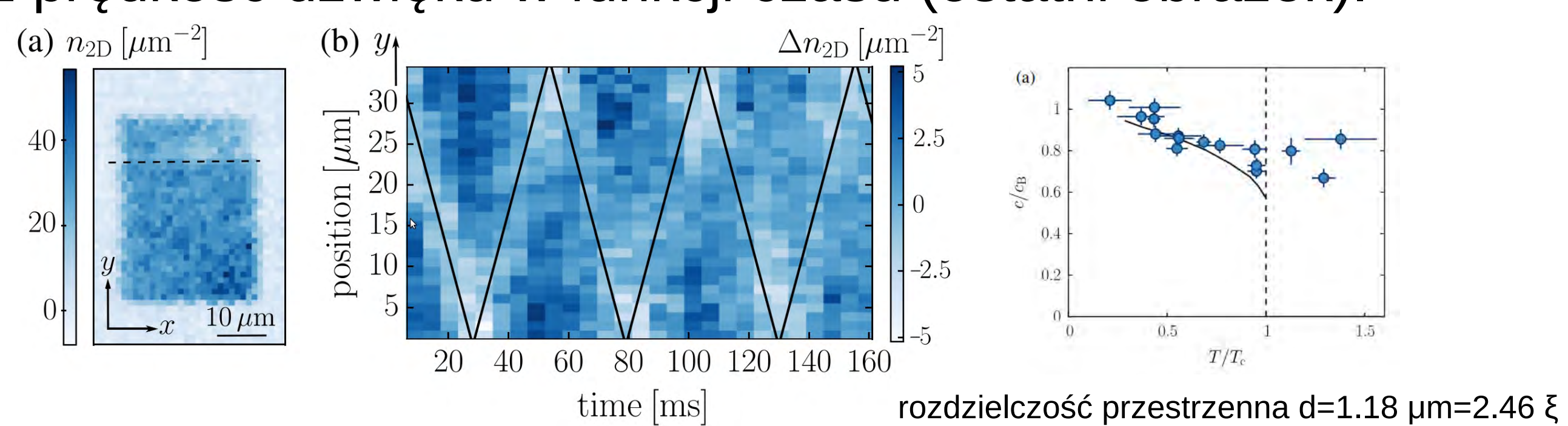
Zmotywowani niedawnym eksperymentem [1] analizujemy propagację dźwięku w dwuwymiarowym, słabo oddziałującym, jednorodnym gazie Bosego. Wykorzystując metodę pól klasycznych (CFA) udaje się nam odtworzyć oryginalny eksperyment. Następnie szczegółowo badamy powstające fale gęstości. Zmieniamy rozdzielczość naszego (numerycznego) układu obrazującego i identyfikujemy pojawiające się struktury jako kwazisolitony, które z czasem rozpadają się na pary wirów. Układ osiąga stan równowagi termodynamicznej, w której fluktuuje liczba par wirów o przeciwnych ładunkach. Sprawdzamy, że układ znalazł się w fazie Berezinskiego-Kosterlitz-Thoulessa (BKT) indukowanej rozpadającymi się kwazisolitonami.

Zaczynamy od numerycznych symulacji eksperymentu [1]. Wykorzystujemy algorytm Metropolis i generujemy zespół stanów początkowych dwuwymiarowego gazu Bosego w pałapce typu „pudło”. Następnie zaburzamy układ usuwając atomy z obszaru o zadanej szerokości (w) i głębokości (d). Obserwujemy ewolucję układu.

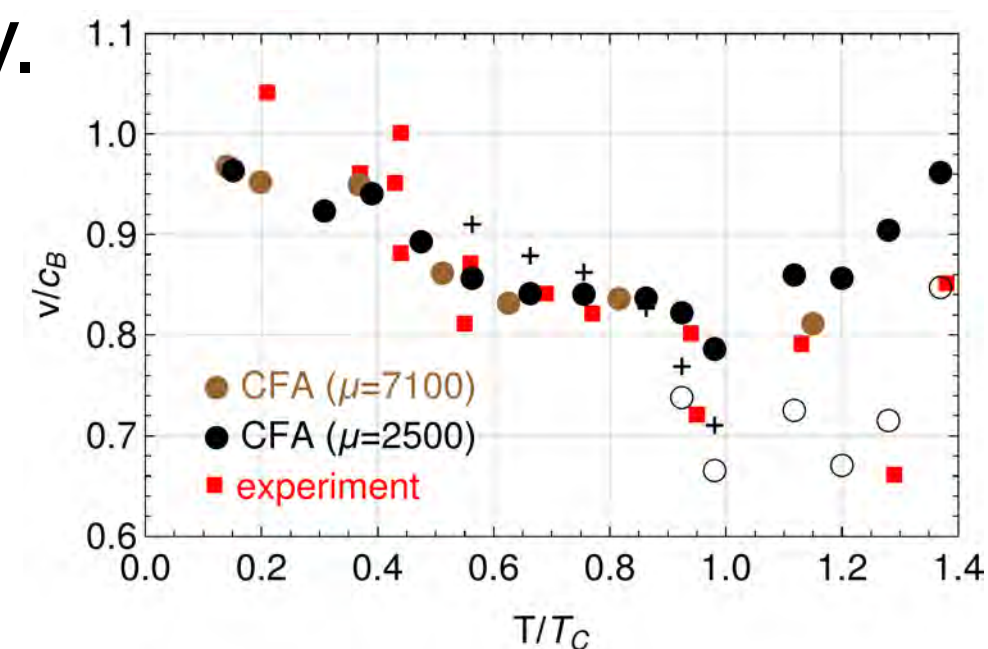


Rysunki od lewa do prawa: początkowa gęstość układu w 2D „pudle”; dwa obrazy z ewolucją dla różnych szerokości zaburzenia (w każdej chwili czasu 2D gęstość jest najpierw wyciąkowana w kierunku poprzecznym do kierunku propagacji dźwięku, a następnie uśredniona po 100 realizacjach). Początkowo układ zawiera $N=42275$ atomów w temperaturze $T=0.37T_c$. Wewnątrz ewolucja dla pojedynczej realizacji.

Eksperyment do którego się odwołujemy [1]: od lewej strony gęstość stanu początkowego (zauważ początkowe zaburzenie w gęstości), następnie obrazek ewolucji w pojedynczej realizacji, oraz prędkość dźwięku w funkcji czasu (ostatni obrazek).



Nasze główne wyniki #1: prędkość dźwięku unormowana do prędkości Bogoliubova (w zerowej temperaturze) przedstawiona w funkcji temperatury.



Czarne i brązowe koła (różna wartość potencjału chemicznego) to numeryczne wyniki dla słabego zaburzenia ($w \sim 0.25, d < 5/16$), puste koła to silne zaburzenie ($w < 0.25, d \gg 5/16$). Czerwone kwadraty to wyniki eksperymentalne [1]. Krzyżykami zaznaczono przewidywania modelu dwóch-cieczy [2] obliczonych w ramach przybliżenia CFA:

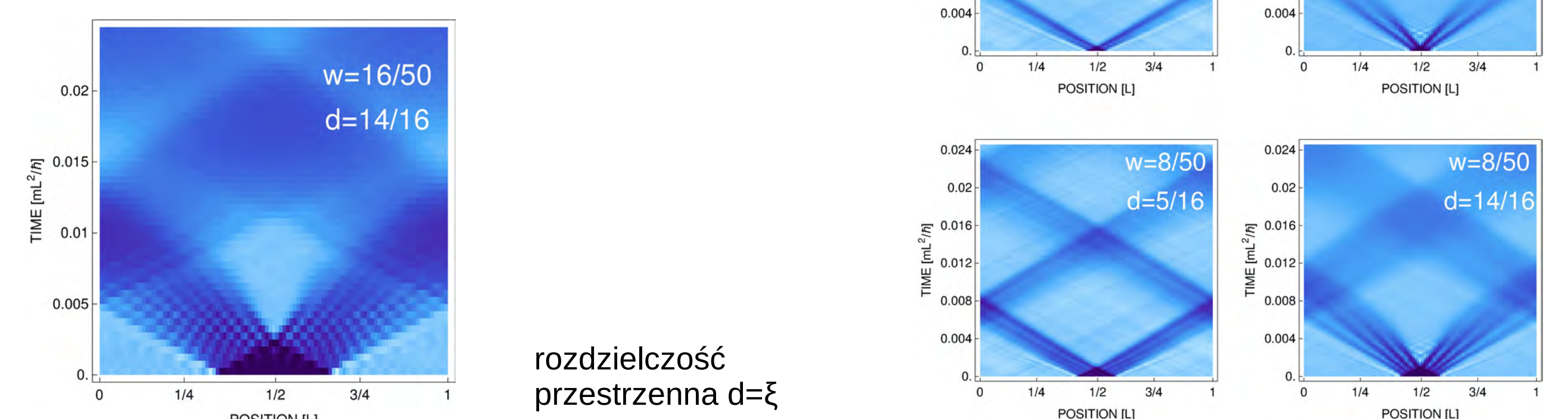
$$c^4 - \left(\frac{1}{m\kappa_S} + \frac{n_s T \bar{s}^2}{n_n \bar{c}_V} \right) c^2 + \frac{n_s T \bar{s}^2}{n_n \bar{c}_V} \frac{1}{m\kappa_T} = 0$$

where $n_s, n_n,$ and $n (= n_s + n_n)$ are superfluid, normal, and total densities, respectively. $\kappa_T (\kappa_S)$ is the isothermal (adiabatic) compressibility, \bar{s} is the entropy, and \bar{c}_V – the specific heat at constant volume, both per unit mass.

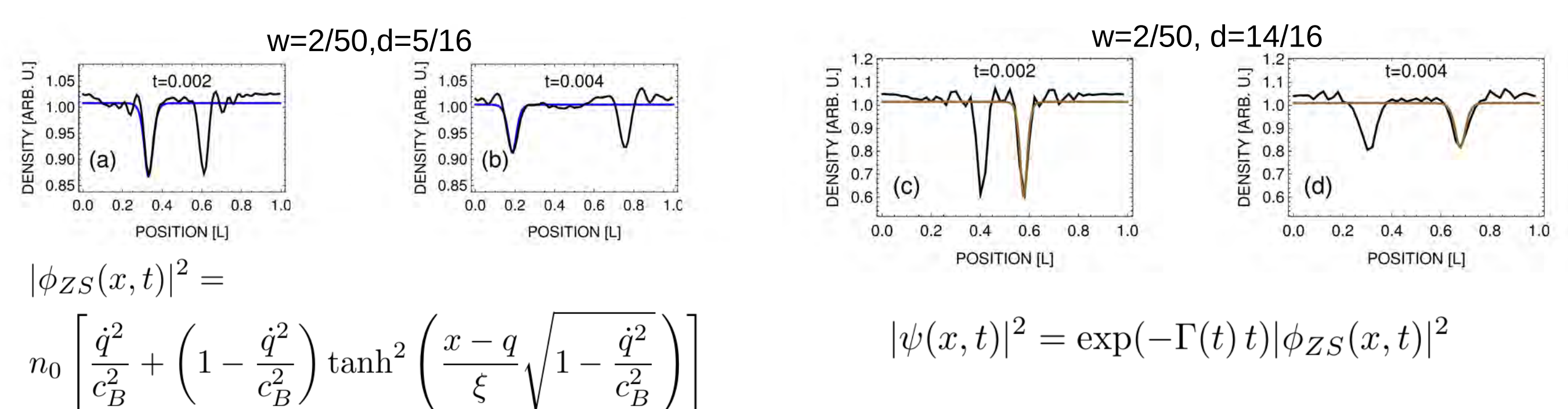
Bibliografia

- [1] J.L. Ville et al., Phys. Rev. Lett. **121**, 145301 (2018)
- [2] L. Pitaevskii and S. Stringari, *Bose-Einstein Condensation* (Oxford University Press, Oxford, 2003)
- [3] V.E. Zakharov and A.B. Shabat, Zh. Eksp. Teor. Fiz. **64**, 1627 (1973)
- [4] robocza wersja badań [arxiv:2008.12570](https://arxiv.org/abs/2008.12570)

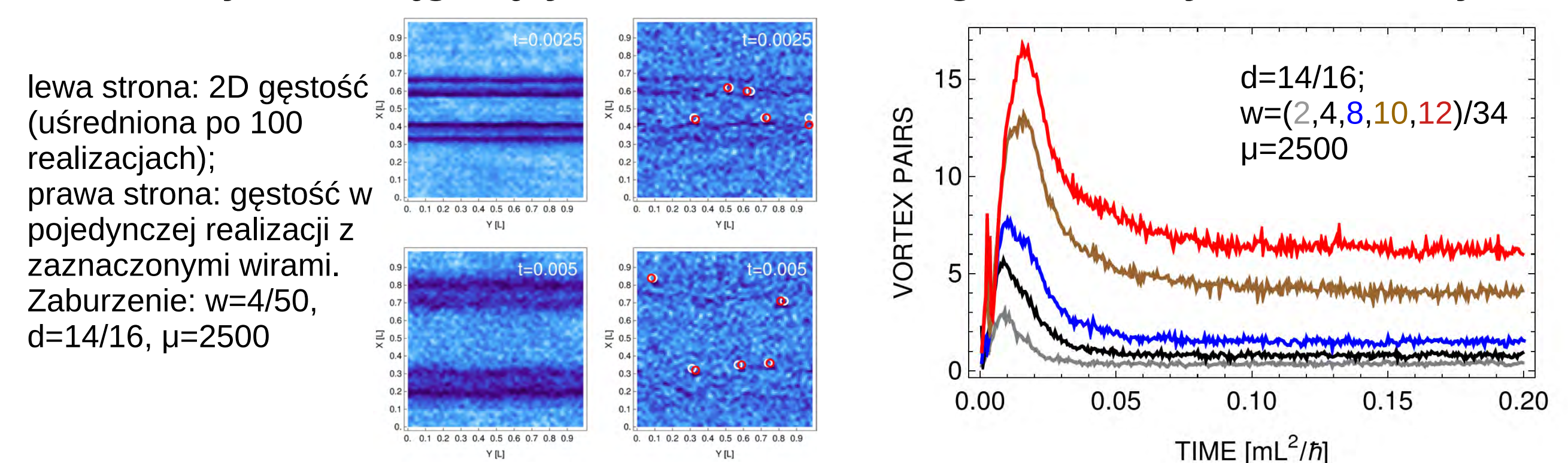
Obserwacje z zastosowaniem dużej rozdzielczości: istotnie zamieniamy parametry początkowego zaburzenia (szerokość (w) i głębokość (d)). Dla specyficznich wybranych parametrów zauważamy, że odpowiedź układu znacząco różni się od obserwacji przedstawionych w [1].



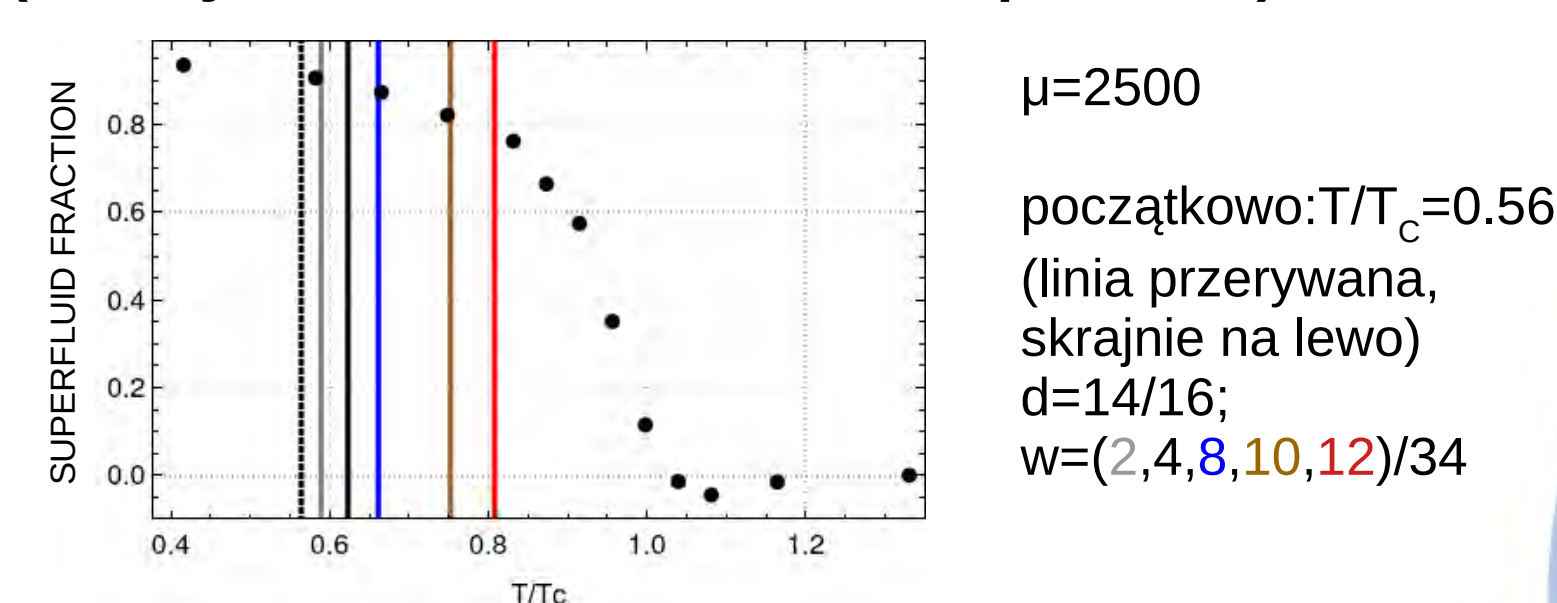
Przedstawione powyżej struktury przeżywają wiele zderzeń a ich kształt tylko nieznacznie zależy od czasu – dlatego staramy się przypisać im własności solitonowe. Poniżej sprawdzamy przekrycie gęstości z analitycznymi rozwiązaniami jednosolitonowymi (Zakharov-Shabat [3]) z uwzględnieniem dodatkowego parametru tłumienia.



Nasze główne wyniki #2: (lewy rysunek) rozpad kwazisolitonów na wiry, (prawy rysunek) liczba par wirów o przeciwnych ładunkach (uśrednienie po 100 realizacjach). Większe zaburzenie prowadzi do większej liczby wirów gdy zostanie już osiągnięty stan równowagi termodynamicznej.



Przesunięcie temperatury krytycznej dla zaburzenia o ustalonej głębokości $d=14/16$ i zmiennej szerokości $w=(2,4,8,10,12)/34$ (kolejne linie z lewa-na prawo):



Wnioski [4]

obserwujemy kwazisolitony, które rozpadają się na pary wirów; ostatecznie gaz termalizuje do fazy BKT.

1920



Poster available in English:

