

## ON2

# Oddział Fizyki Promieniowania i Spektroskopii

kierownik oddziału: prof. dr hab. Bolesław Kozankiewicz

**6 zespołów, 3 tematy statutowe**

### **S021-10: Spektroskopia, fotodynamika i właściwości cząsteczek funkcjonalnych**

kierownik tematu: prof. dr hab. Zbigniew Kisiel

10 etatów naukowych (6 profesorów), 1 doktorant, 4,6 etatów technicznych

**25 publikacji w tym:**

7 - Phys. Chem. Chem. Phys. (if=4,116)

2 - J. Chem. Phys. (if=3,093)

ON-2.1

5 - J. Phys. Chem. A (if=2,899)

1 - Theor. Chem. Acc. (if=2,584)

ON-2.3

2 - J. Photochem. Photobiol. A (if=2,553)

1 - Chem. Phys. Lett. (if=2,291)

ON-2.5

1 - J. Phys. Org. Chem. (if=1,602)

2 - J. Mol. Struct. (if=1,551)

4 - J. Mol. Spectr. (if=1,542)

+ 1 monografia

# **S022-07: Fotofizyka stanu gazowego i skondensowanego, metamateriałów oraz substancji biologicznych**

kierownik tematu: prof. dr hab. Jan Mostowski

22 etaty naukowe (10 profesorów), 5 doktorantów, 4,5 etatów technicznych

## **28 publikacji, w tym:**

- 4 - Phys. Rev. Lett. (if=7,328)
- 2 - J. Phys. Chem. A (if=2,899)
- 5 - Phys. Rev. A (if=2,866)
- 1 - J. Stat. Mech. (if=2.67)
- 1 - Phys. Rev. E (if=2,4)
- 2 - Chem. Phys. Lett. (if=2,291)
- 2 - J. Phys. B (if=1,91)
- 1 - J. Phys. A (if=1,577)
- 2 - Opt. Commun. (if=1,316)
- 1 - J. Non-Cryst. Solids (if=1,252)
- 2 - Opto-Electron. Rev. (if=1,168)
- 1 - Low Temp. Phys. (if=1,074)
- 1 - J. Mod. Optics (if=0,942)
- 1 - Eur. J. Phys. (if=0,741)
- 2 - Opt. Appl. (if=0,368)

ON-2.2 Eksperyment

ON-2.6 Teoria

## **SO24-04: Wpływ defektów, domieszek i naprężeń na własności cienkich warstw perowskitów**

kierownik tematu: prof. dr hab. Marta Cieplak

6,5 etatów naukowych (2,5 profesorów), 2 doktorantów, 1,5 etatów technicznych

### **9 publikacji, w tym:**

**2** - Phys. Rev. B (if=3,475)

**1** - Appl. Surf. Sci. (if=1,616)

**6** - Acta Phys. Pol. A (if=0,433)

**ON-2.4**

# Pary atomów tworzone podczas zderzenia kondensatów Bosego-Einsteina

## Eksperyment:

**Chris Westbrook**

Denis Boiron

Jean-Christophe Jaskula

Valentina Krachmalnicoff

Marie Bonneau

Vanessa Leung

Guthrie Partridge

Alain Aspect



## Teoria (symulacje):

Piotr Deuar (IF PAN)



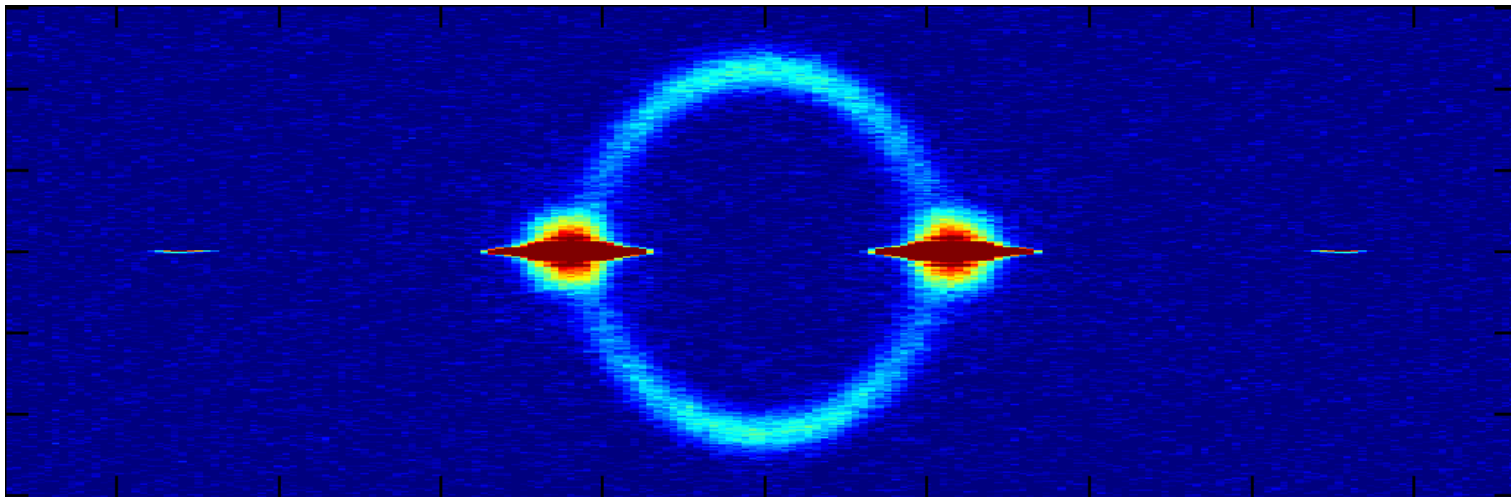
## Teoria (ogólnie):

Karen Kheruntsyan (UQ)

Marek Trippenbach (UW)

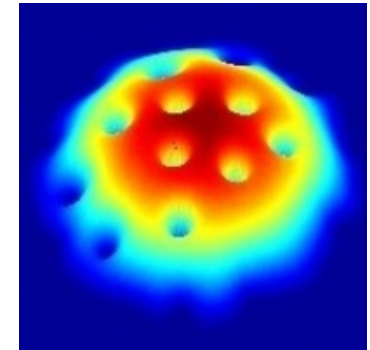
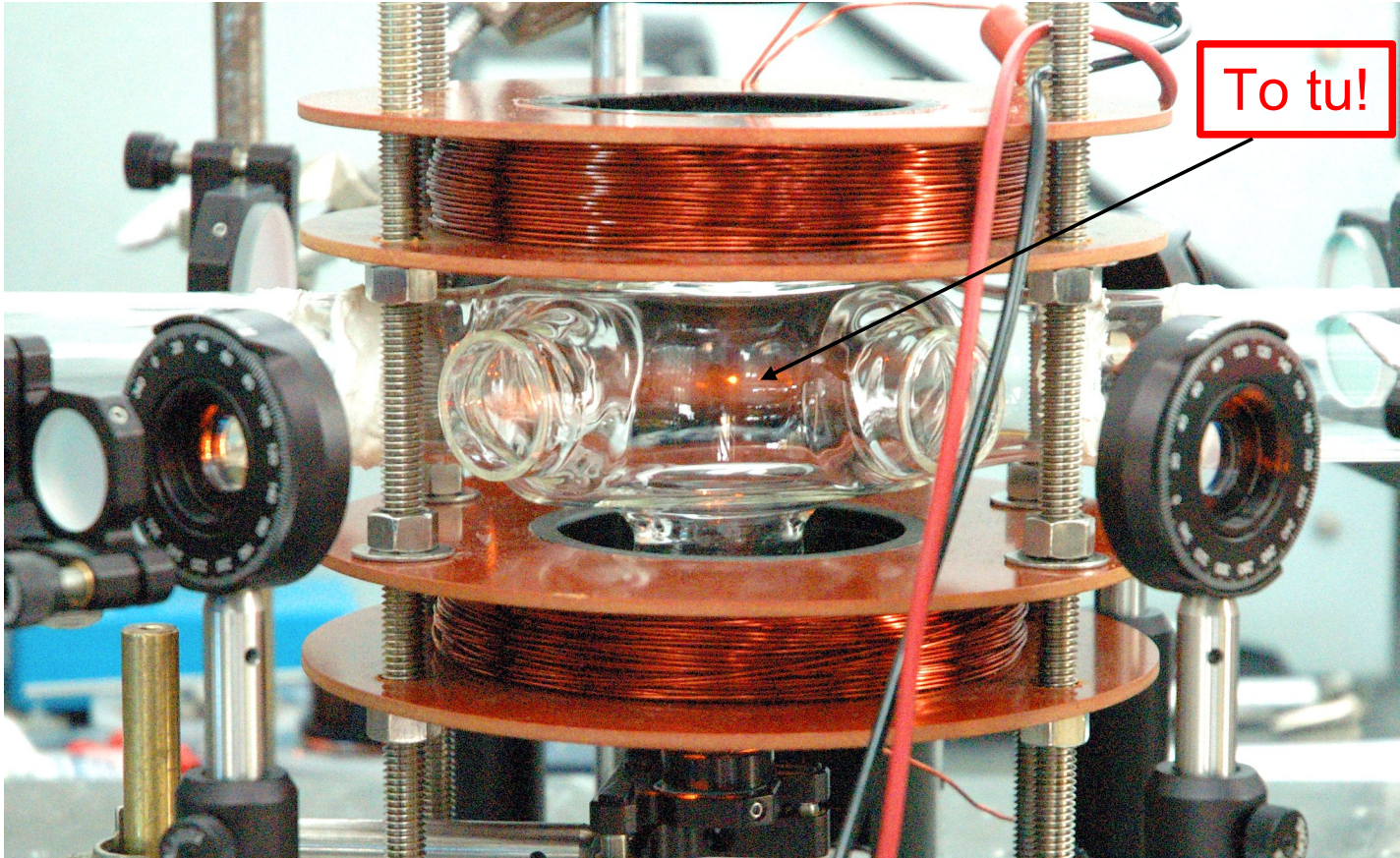
Jan Chwedeńczuk (UW)

Paweł Ziń (IPJ)

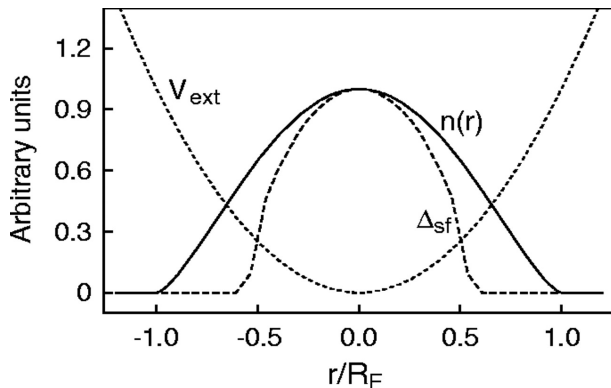
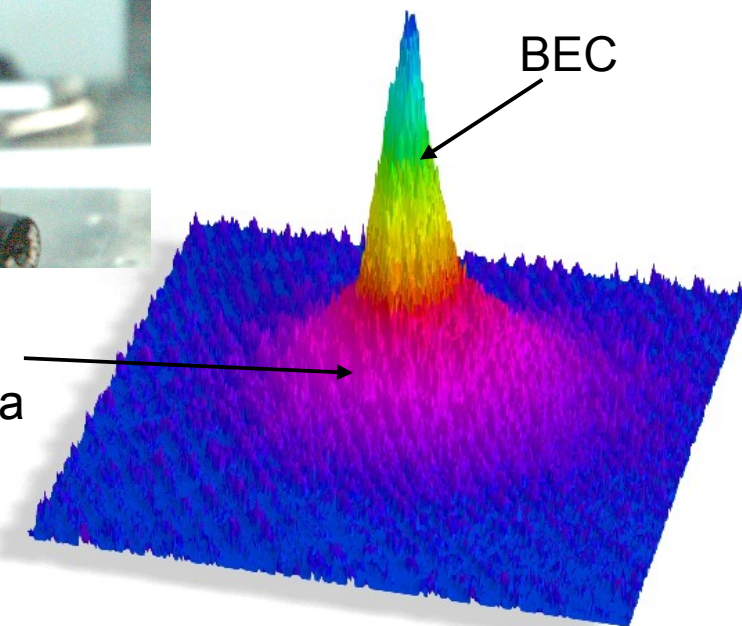


# Kondensat Bosego-Einsteina - ogólnie

*“Większość atomów w jednym orbitalu w pułapce”*



System jest nadciekły



System jest nierównomierny

Chmura termiczna

# Kondensat – skale energii, długości

## Energie:

$\mu/N$   
Oddziaływanie  
dwu-cząstkowe

$\ll$

$\hbar\omega$   
Odstęp  
między poziomami  
w pułapce

$\ll$

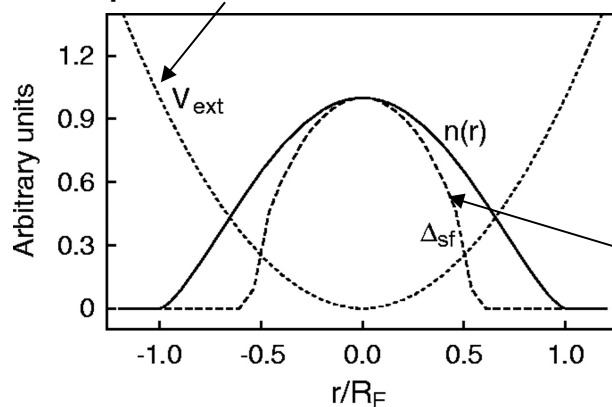
100nK - 10 $\mu$ K

$kT$

$\ll$

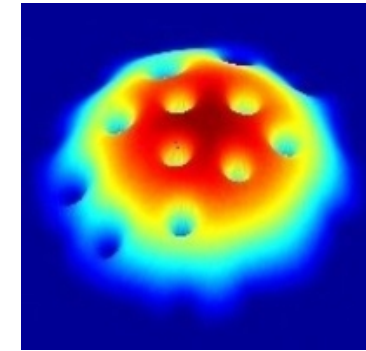
$\mu$   
Pole średnie  
oddziaływania  
z resztą atomów  
(potencjał chemiczny)

Pułapka harmoniczna



*“Większość atomów w jednym orbitalu w pułapce”*

Ten orbital



## Odległości:

Interakcja  
Van der Waals  
 $r_0$

$\ll$

Długość  
Rozpraszania  
 $a_s$

$\ll$

Odległość  
Między  
Atomami  
 $1/n$

$\ll$

Długość  
“zabliźniania”  
 $\xi$

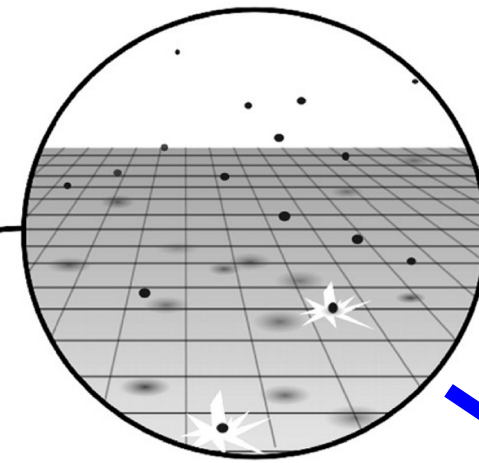
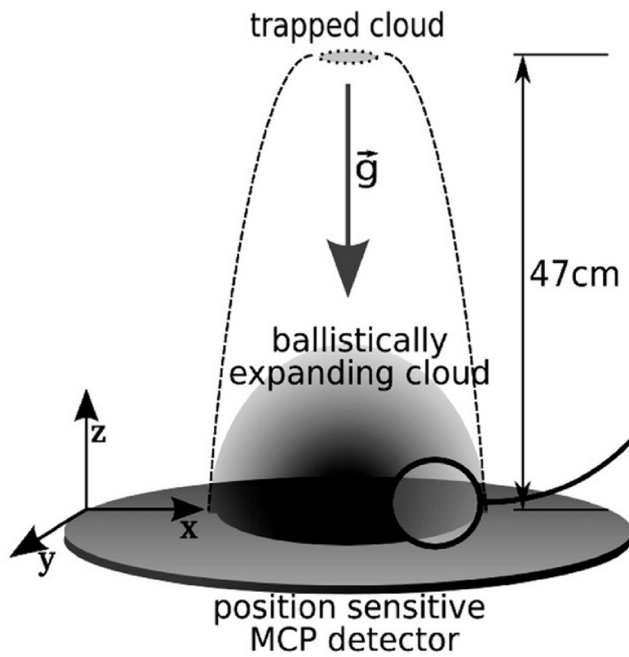
$\ll$

Rozmiar  
Chmury  
 $R_F$   
długość  
koherencji  
 $l_\phi$

$\ll$

Mean  
free  
path

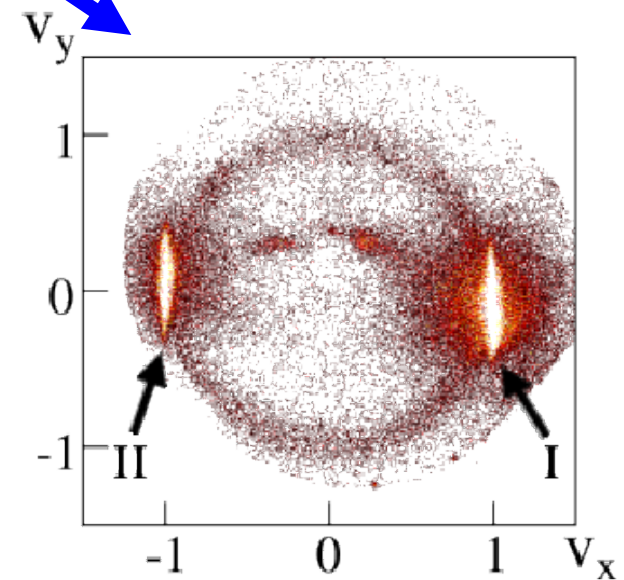
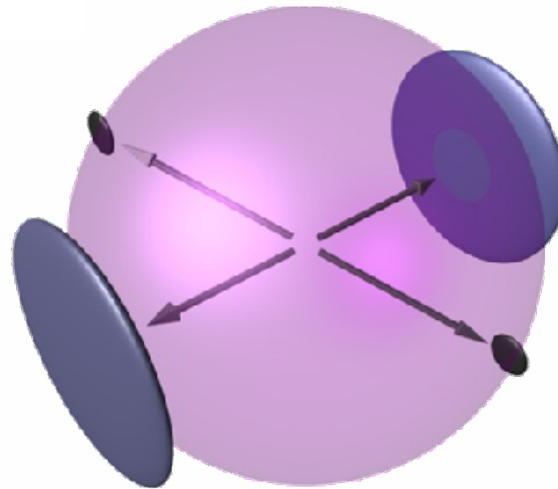
# Hel metastabilny - eksperyment



W efekcie,  
uzyskuje się rozkład pędów

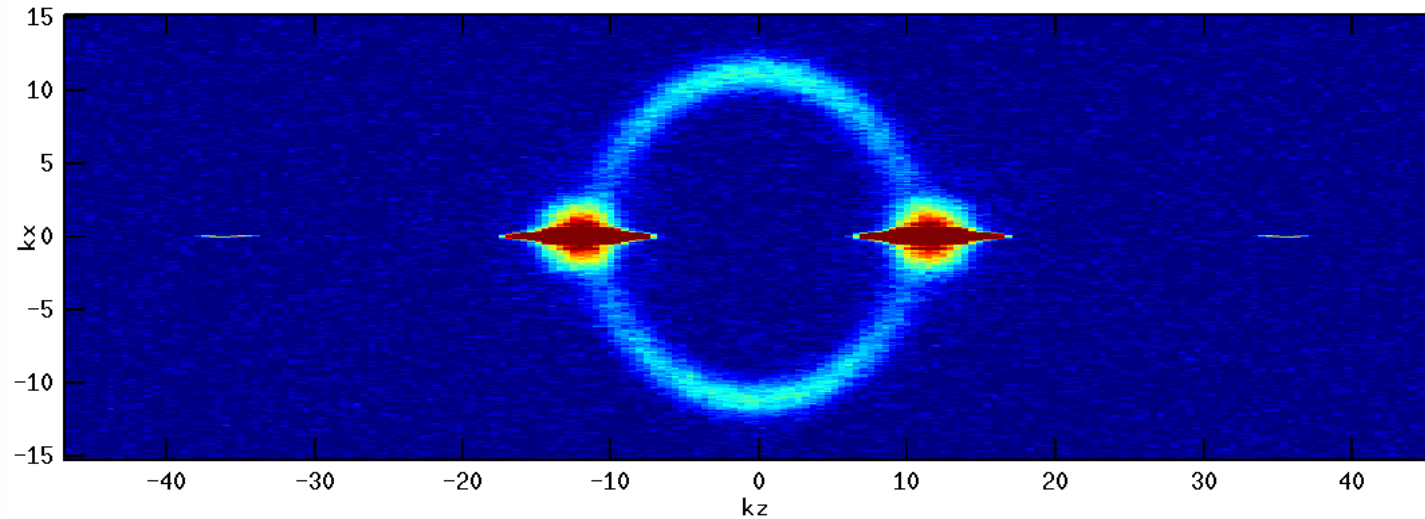
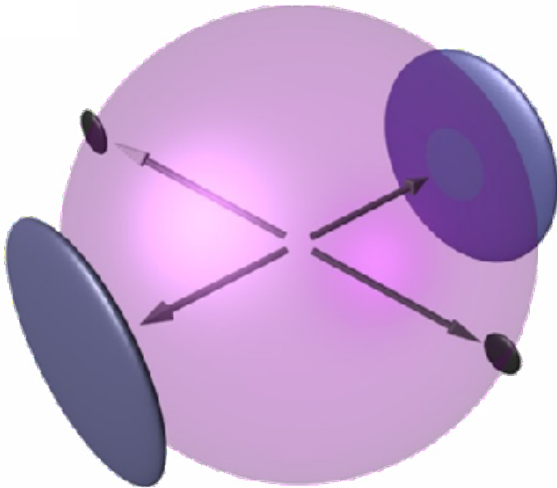
Detekcja pojedynczych atomów  
wydajność  
 $\eta \sim 12\%$

Naddźwiękowe  
zderzenie  
kondensatów



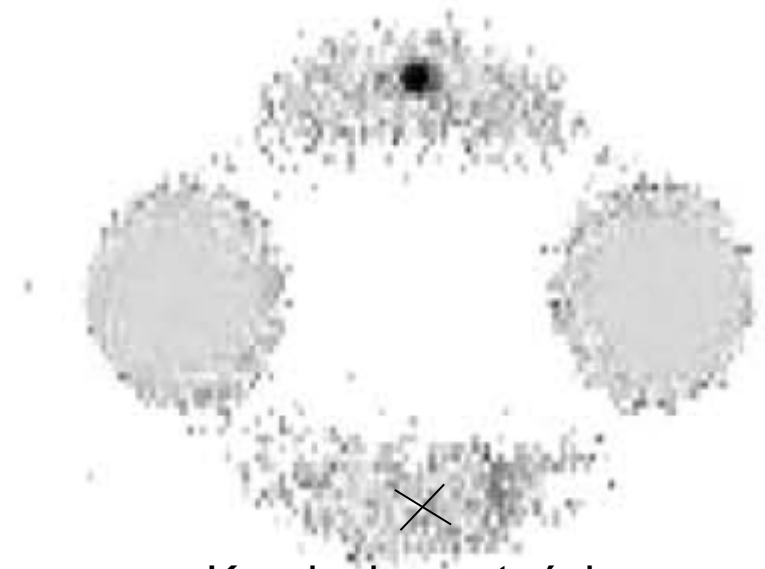
# Halo rozproszonych atomów

*Opis bezpośrednio z Hamiltonianu kwantowego*



- Tworzone przez pary atomów o przeciwnym pędzie
- Skorelowane pary są potencjalnie użyteczne do:
  - interferometrii  
[poniżej poziomu szumu śrutowego]
  - badania podstaw mechaniki kwantowej  
[n.p. paradoks Einstein-Podolsky-Rosen]
  - ...

*- Niestety, w praktyce pary nie są doskonałe...*

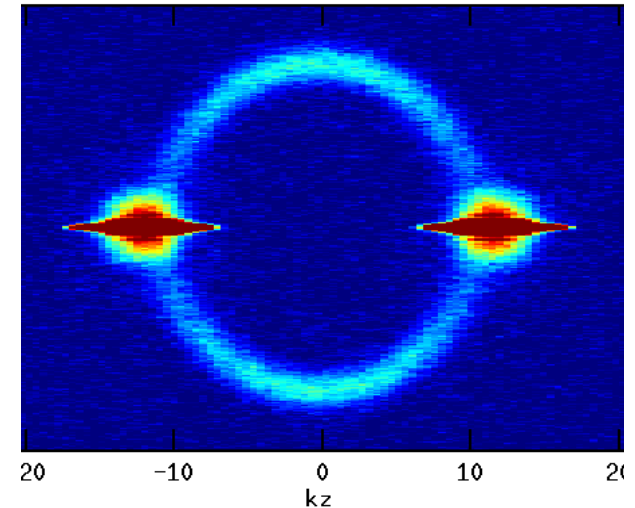


Korelacja gęstości



# Trudności w symulacji dynamiki

*np.  $N=100\ 000$  atomów,  
sieć obliczeniowa  $P=3 \times 10^6$  punktów*



(1) pełny opis niemożliwy:

$\sim P^N$  współczynników w funkcji falowej

(2) opis średniego pola nieużyteczny:

Halo tworzone przez procesy spontaniczne, w stanach gdzie średniego pola nie ma

---> (2A) perturbacje średniego pola też nieużyteczne:

(3) opis Bogoliubowa też dalej za duży:

wymaga diagonalizacji macierzy  $\sim P \times P$  w każdym punkcie czasowym

# Ułaskawianie trudności z wielkością opisu

(1) Zamiast funkcji falowej  $\Psi(x)$  *[ $P^N$  zmiennych]*

stan można dokładnie zapisać także jako rozkład  
prawdopodobieństwa  $P(\alpha, \beta)$  pól półklasycznych  $\alpha(x)$ ,  $\beta(x)$   
(tzw *reprezentacja positive-P*)

*[teraz Strasznie dużo zmiennych]*

(2) Pobieramy próbki tego rozkładu prawdopodobieństwa  
mamy  $S$  próbek pól  $\alpha(x)$ ,  $\beta(x)$

*[teraz tylko 2SP zmiennych!]*

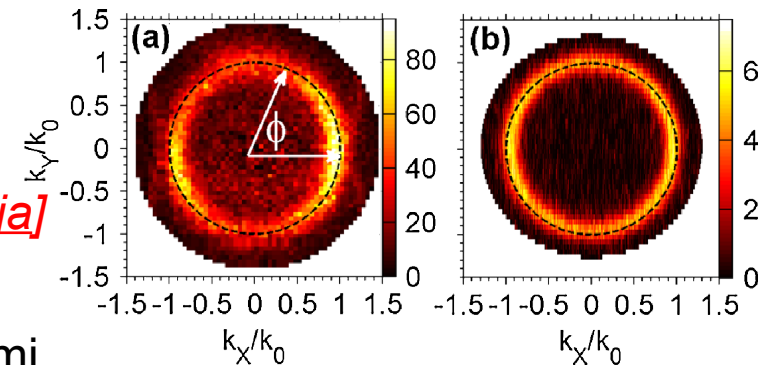
*w limicie  $S \rightarrow \infty$  opis zmierza do dokładnego*

(3) Próbki podlegają równaniom różniczkowym  
(Z odpowiednio dobranym szumem)

*[można sobie liczyć]*

*[ALE, ograniczona precyzja]*

(4) Szacujemy niedokładność metodami statystycznymi



# Spontaneous four-wave mixing of de Broglie waves: beyond optics

V Krachmalnicoff, J-C Jaskula, M Bonneau, V Leung, G Partridge, D Boiron, CI Westbrook, PD, P Ziń, M Trippenbach, KV Kheruntsyan, *Phys. Rev. Lett.* **104**, 150402 (2010)

- Prostoliniyny model z optyki kwantowej:

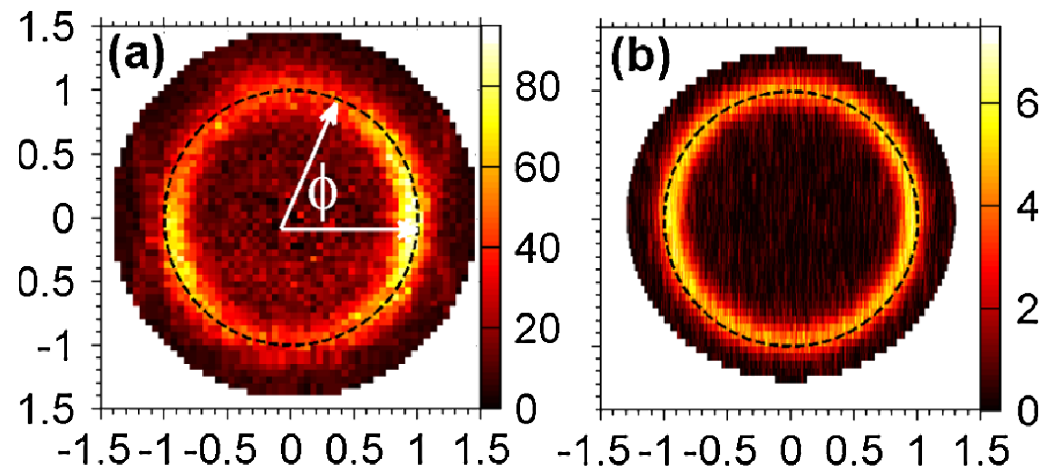
- Halo kuliste
- Średni pęd rozproszonych atomów jak przed zderzeniem
- Mocne korelacje między przeciwległymi atomami

- Zaobserwowano:

- Halo wyraźnie niekuliste
- Średni pęd mniejszy niż przed zderzeniem
- Korelacje znacznie słabsze :-)

- Nadzieja:

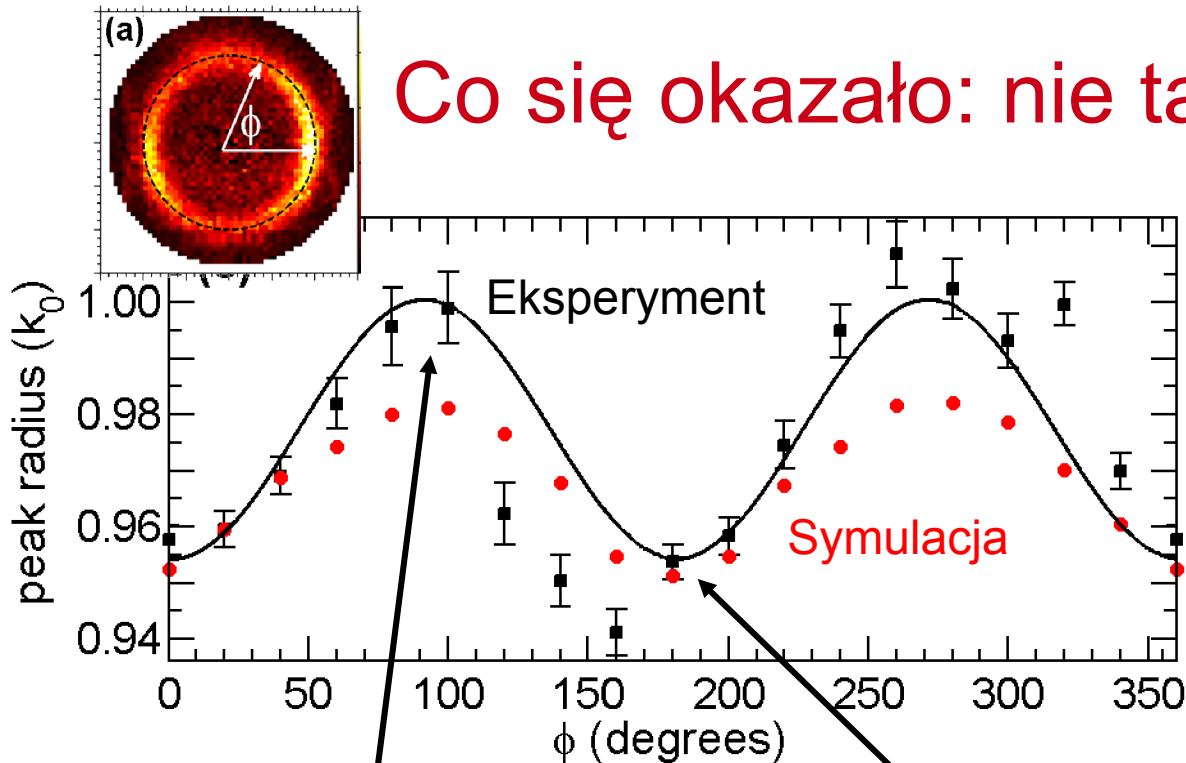
- Lepszy model wyjaśni przyczyny..
- Polepszenie korelacji w następnej iteracji eksperymentu



Eksperyment

Symulacja  
(pełny model)

# Co się okazało: nie tak samo jak w optyce

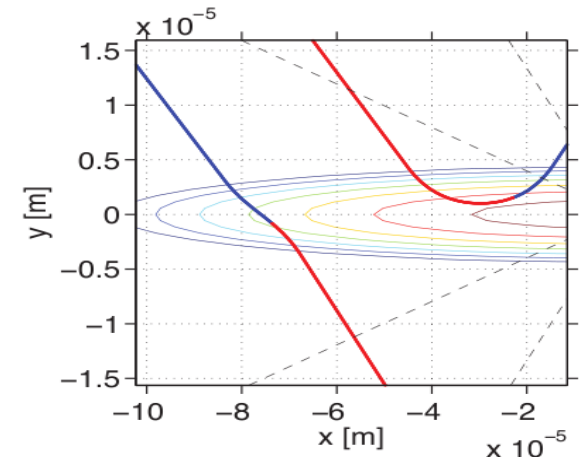
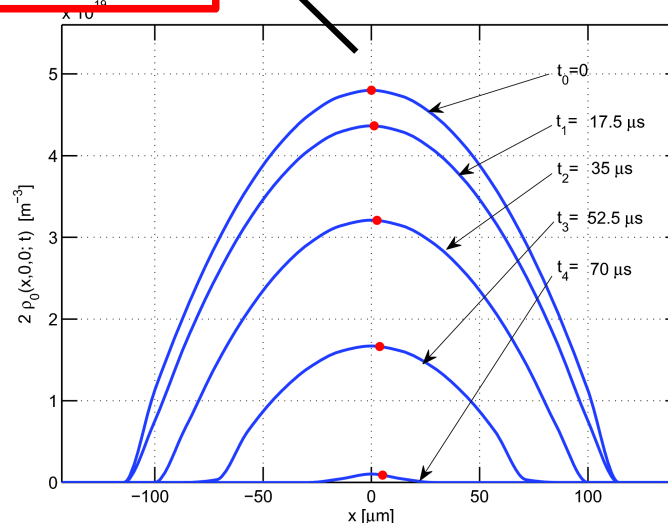
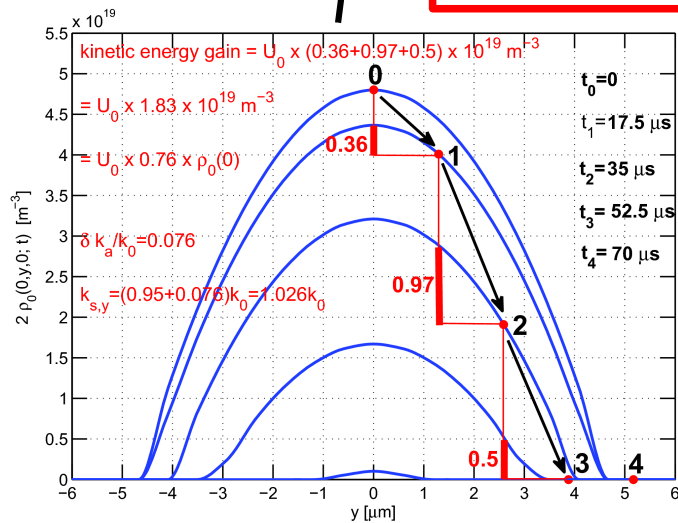


**“Efekt Narciarza”**

1) Wytrącenie atomu z kondensatu kosztuje energię  $\mu/2 \rightarrow$  prędkość rozproszonych atomów jest mniejsza niż kondensatów

2) *Efekt “narciarza”*:

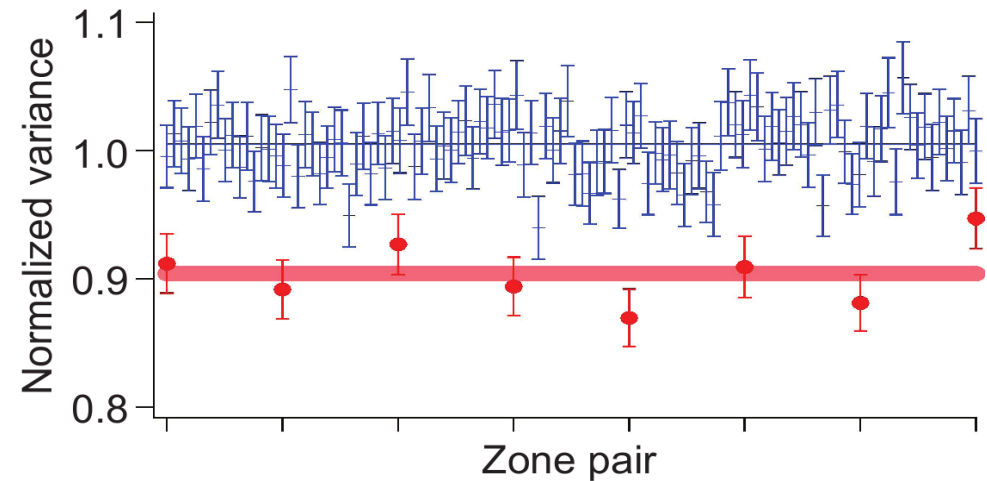
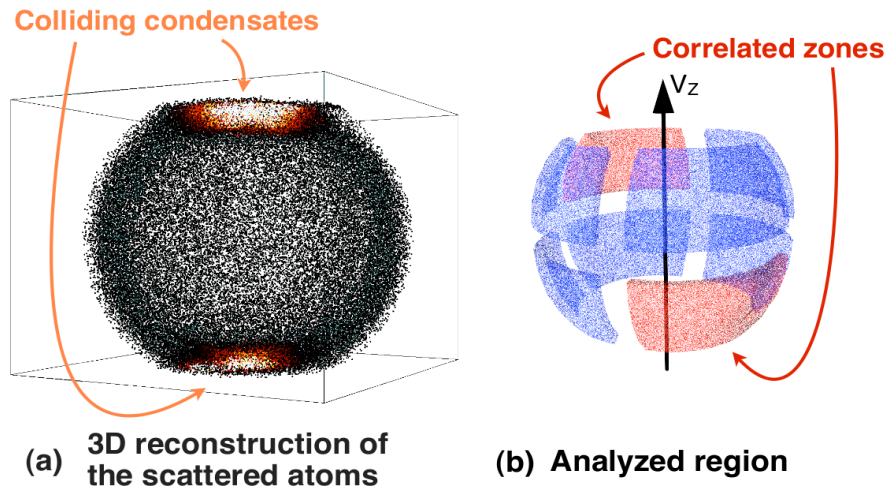
- 1) Pozwala odzyskać część energii
- 2) Psuje przeciwległość atomów w parze  $\rightarrow$  słabsze korelacje



Psucie korelacji

# Sub-Poissonian number differences in four-wave mixing of matter waves

J-C Jaskula, M Bonneau, G Partridge, V Krachmalnicoff, PD, KV Kheruntsyan, A Aspect,  
*Phys. Rev. Lett.* **105**, 190402 (2010)



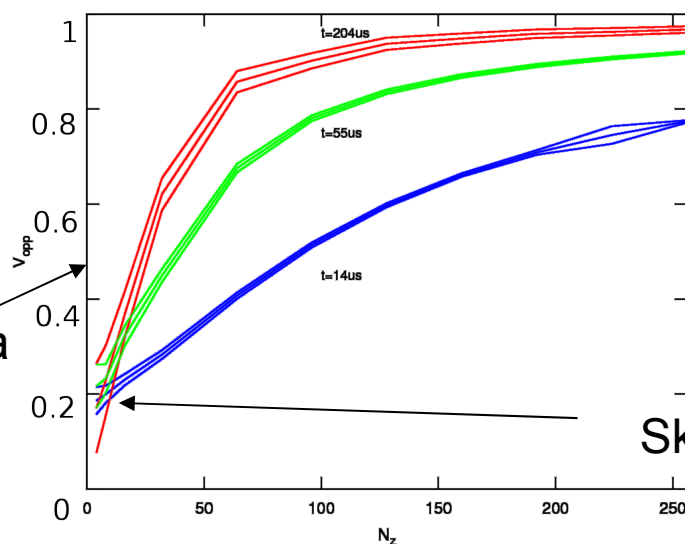
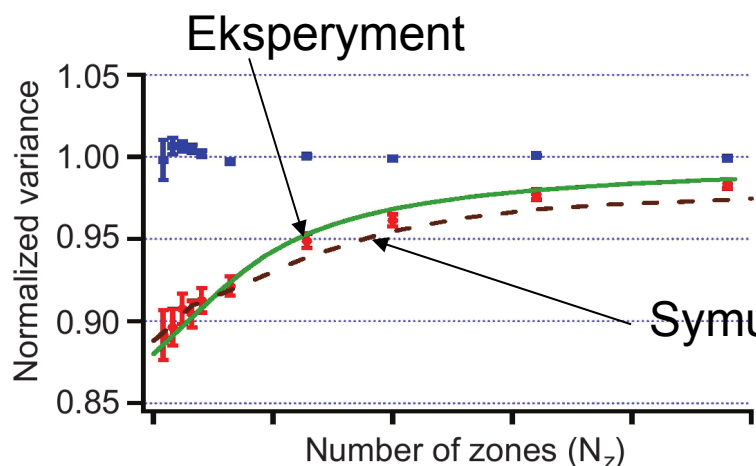
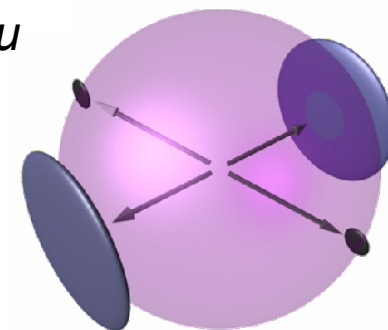
- sub-Poissonowskie fluktuacje w różnicy ilości atomów o przeciwległym pędzie

$$\text{Var}(N_i - N_j) < \langle N_i + N_j \rangle$$

# Sciśnienie par w halo- o co chodzi

- Na co komu “sub-Poissonowskie fuktuacje w różnicy ilości atomów”?

- Interferometria o czułości większej niż możliwe to “klasycznie”.
- Świadczy to o splątaniu atomów w przeciwległych (odległych!) wiązkach
- Krok w kierunku badań paradoksów mechaniki kwantowej typu Einstein-Podolsky-Rosen na obiektach które są:
  - Masywne
  - Złożone



# Wnioski

- Efekt średniego pola kondensatów na rozproszone pary został częściowo wyjaśniony
- Odkryto że dotychczas ignorowany “efekt narciarza” ma mocny wpływ na właściwości ultra-zimnych atomów
- Uzyskano nieklasyczne pary atomów w przeciwległych wiązkach

## Plany na przyszłość

- Lepiej odseparowane wiązki rozproszonych atomów za pomocą sieci optycznej w tle
- W kierunku badań paradoksów kwantowych z masywnymi, złożonymi obiektami