

# OD KONDENSATU BOSEGO - EINSTEINA DO SZTUCZNYCH SIECI NEURONOWYCH

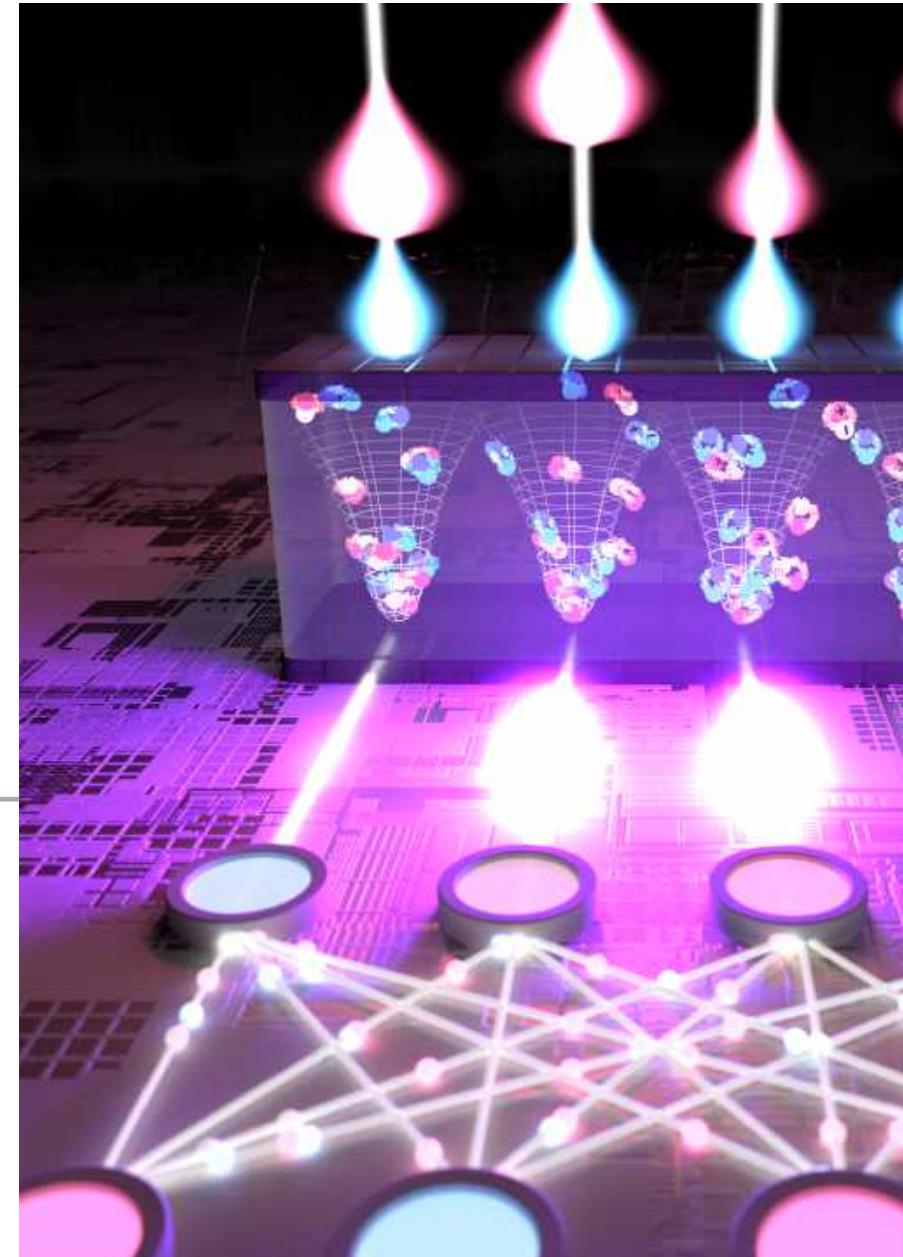
---

dr hab. Barbara Piętka, prof. UW

D  
lolariton



NEUROMORPHIC POLARITON  
ACCELERATOR



## GRANICE MOŻLIWOŚCI

# CO BYŚMY CHCIELI OSiąGNĄĆ, CZEGO JESZCZE NIE UMIEMY ZREALIZOWAĆ?

### Medycyna i biologia

- ▶ Opracowanie bardziej skutecznych leków, personalizacja terapii oraz diagnozowanie chorób na wczesnym etapie

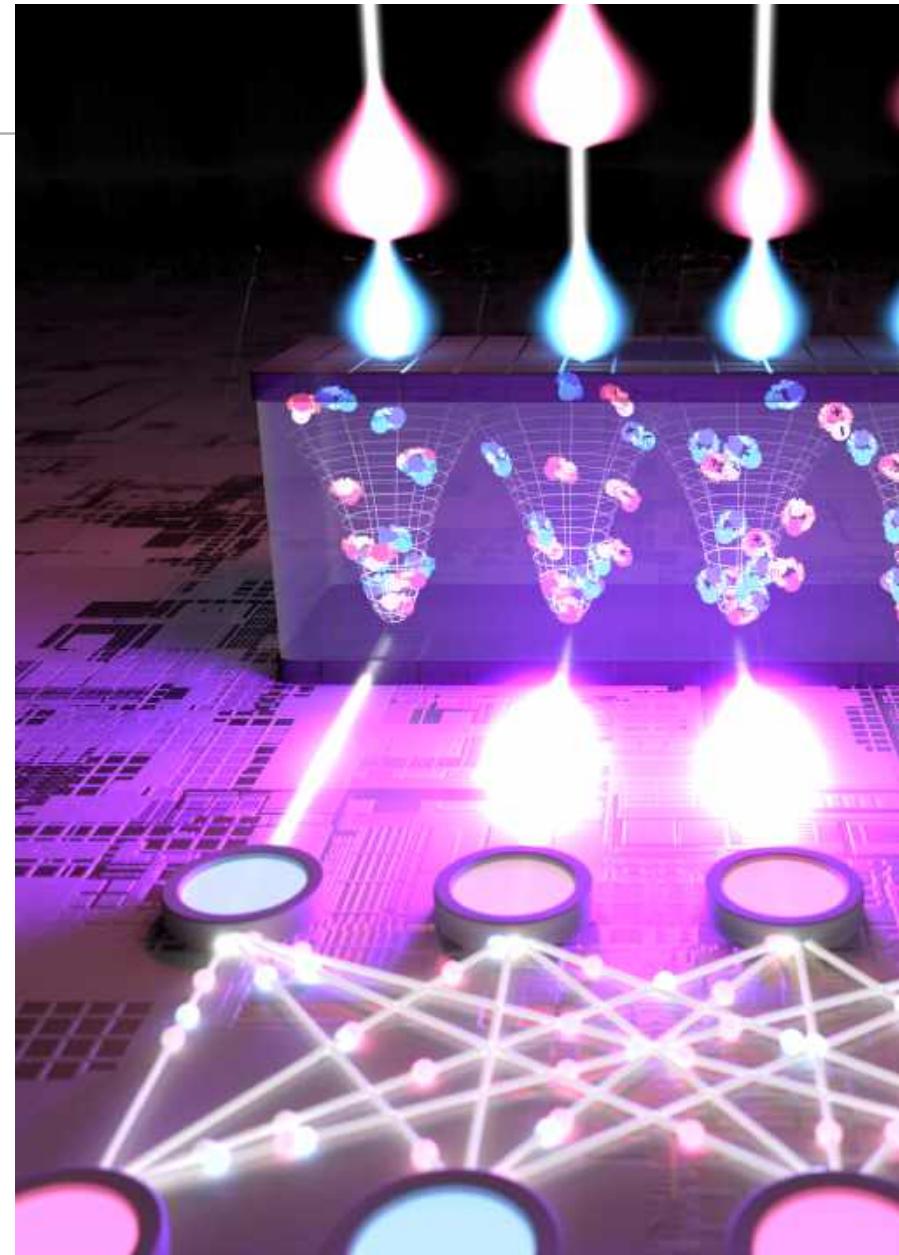
### Zmiany klimatyczne

- ▶ Opracowanie strategii przeciwdziałania zmianom klimatycznym
- ▶ Optymalizowanie zużycia energii i zasobów naturalnych
- ▶ Tworzenie nowych materiałów i technologii przyjaznych dla środowiska
- ▶ Identyfikowanie chorób roślin i zwierząt

### Badania kosmiczne i eksploracja

- ▶ Odkrywanie nowych planet i obiektów kosmicznych

## SZYBKIE I EFEKTYWNE SYSTEMY OBliczeniowe



## STANY MATERII

► Ciało stałe



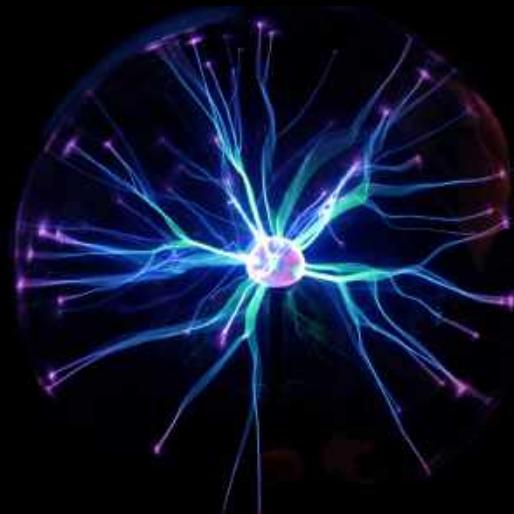
► Ciecz



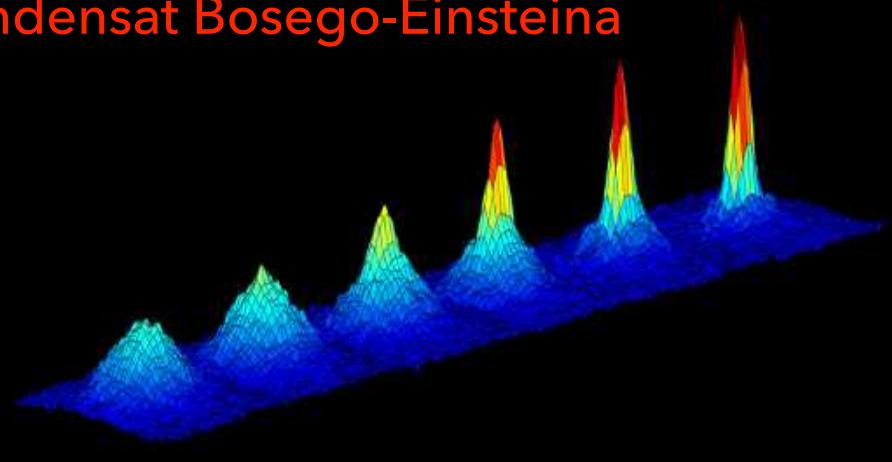
► Gaz



► Plazma



► Kondensat Bosego-Einstaina



## PROBLEM TEORETYCZNY – NOWY STAN MATERII

1924 - 1925

- W reżimie kwantowym skale są określone przez stałą Plancka

$$E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

$$p = \frac{h}{\lambda}$$

	Człowiek	Kula bilardowa	Czasteczka C <sub>60</sub>	Atom sodu	Elektron	Foton (bezmasowy)
Masa $m$ (kg)	$7 \times 10^1$	$2 \times 10^{-1}$	$1 \times 10^{-24}$	$4 \times 10^{-26}$	$9 \times 10^{-31}$	n/d
Rozmiar $L$ (m)	2	$6 \times 10^{-2}$	$7 \times 10^{-10}$	$2 \times 10^{-10}$	$5 \times 10^{-11}$	$5 \times 10^{-7}$
Predkość $v$ (m/s)	1	1	$2 \times 10^2$	$6 \times 10^2$	$2 \times 10^6$	$3 \times 10^8$
Energia $E = \frac{1}{2}mv^2$ (J)	$4 \times 10^1$	$9 \times 10^{-2}$	$2 \times 10^{-20}$	$6 \times 10^{-21}$	$2 \times 10^{-18}$	$4 \times 10^{-19}$
$\frac{E \times L}{v}$ (J·s)	$6 \times 10^1$	$5 \times 10^{-3}$	$8 \times 10^{-32}$	$2 \times 10^{-33}$	$5 \times 10^{-35}$	$7 \times 10^{-34}$
Znaczenie kwantowe	Pomijalne	Pomijalne	Istotne	Kluczowe	Obiekt kwantowy	Obiekt kwantowy

## PROBLEM TEORETYCZNY - NOWY STAN MATERII 1924 - 1925



Satyendra  
Nath Bose

### STATYSTYKA KWANTOWA ŚWIATŁA (FOTONÓW).

S. N. Bose, Z. Phys. 26, 178 (1924)

- ▶ wiele fotonów w tym samym stanie kwantowym
- ▶ nierozróżnialność dwóch cząstek w tym samym stanie kwantowym

- ▶ W reżimie kwantowym skale są określone przez stałą Plancka

$$h = 6.626 \cdot 10^{-34} J \cdot s$$

$$E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

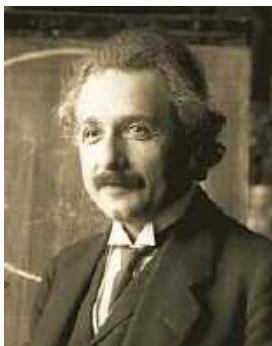
- ▶ Bose definiuje, że każdy stan kwantowy ma objętość  $h^3$  i odrzuca konieczność wyznaczania położenia i pędu cząstek.
- ▶ Opisana przez niego gęstość stanów, znana współcześnie jako rozkład Bosego-Einsteina, jest fundamentem opisu prawdopodobieństwa obsadzenia danego stanu kwantowego przez cząstki bozonowe.

## PROBLEM TEORETYCZNY - NOWY STAN MATERII

1924 - 1925



Satyendra  
Nath Bose



Albert Einstein

Respected Sir,  
*I have ventured to send you the accompanying article for your perusal and opinion. I am anxious to know what you think of it. You will see that (I have tried to deduce the coefficient  $\frac{8\pi v^2}{c^3}$  in Planck's law independent of the classical electrodynamics,) only assuming that ~~function~~ that the ultimate elementary regions in the phase-space has the content  $h^3$ . I do not know sufficient German to translate the paper. If you think the paper is worth publishing, I shall be grateful if you arrange for its publication in Zeitschrift für Physik.*

Respected Sir,

I have ventured to send you the accompanying article for your perusal and opinion. I am anxious to know what you think of it. You will see that I have tried to deduce the coefficient  $\frac{8\pi v^2}{c^3}$  in Planck's law independent of the classical electrodynamics only assuming that the ultimate elementary regions in the phase-space has the content  $h^3$ . I do not know sufficient German to translate the paper. If you think the paper is worth publishing, I shall be grateful if you arrange for its publication in *Zeitschrift für Physik*.

Though a complete stranger to you, I do not feel any hesitation in making such a request. Because we are all your pupils though profiting only by your teachings through your writings.

Yours Faithfully,  
 S.N. Bose

*„I have translated your paper and given it to Zeitschrift für Physik for publication. It signifies an important step forward and pleases me very much.” A. Einstein*

### STATYSTYKA KWANTOWA ŚWIATŁA (FOTONÓW).

S. N. Bose, Z. Phys. 26, 178 (1924)

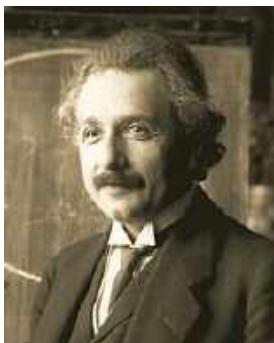
- ▶ wiele fotonów w tym samym stanie kwantowym
- ▶ nieroróżnialność dwóch cząstek w tym samym stanie kwantowym

## PROBLEM TEORETYCZNY - NOWY STAN MATERII

1924 - 1925



Satyendra  
Nath Bose



Albert Einstein

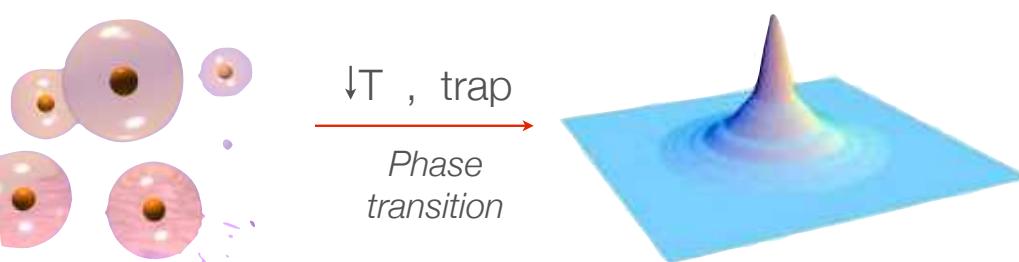
### STATYSTYKA KWANTOWA ŚWIATŁA (FOTONÓW).

S. N. Bose, Z. Phys. 26, 178 (1924)

- ▶ wiele fotonów w tym samym stanie kwantowym
- ▶ nierozróżnialność dwóch cząstek w tym samym stanie kwantowym

### NIE TYLKO ŚWIATŁO, ALE TAKŻE MATERIA (BOZONY) MOGĄ MIEĆ TE SAME WŁAŚCIWOŚCI

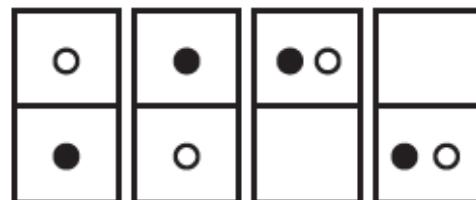
- ▶ gaz masywnych bozonów makroskopowo zajmuje stan o najniższej możliwej energii w niskich temperaturach



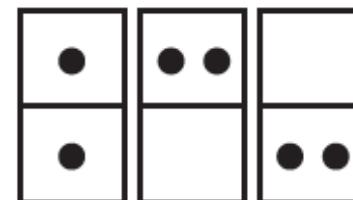
A. Einstein, Sitzungsber. Preuss. Akad. Wiss.,  
Bericht 3, p. 18 (1925)

## STATYSTYKA

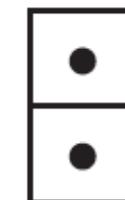
- [ Jak rozmieścić cząstki w dostępnych stanach kwantowych?
- [ Rozważmy dwie cząstki, które mogą być rozmieszczone w dwóch pudełkach.
- [ Jaka jest prawdopodobieństwo w każdym przypadku, że obie cząstki znajdą się w jednym pudełku?



**Rozróżnialne bozony**  
(jak cząstki klasyczne)



**Nierozróżnialne bozony**  
(cząstki bozonowe w granicy kwantowej)



**Fermiony**

Bozony to cząstki o spinie całkowitym. Funkcja falowa układu identycznych bozonów jest symetryczna przy wymianie dowolnych dwóch cząstek.

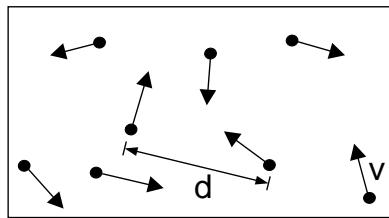
$$\frac{1}{2}$$

$$\frac{2}{3}$$

$$0$$

Fermiony mają spin połówkowy antysymetryczną funkcję falową.

## KONDENSACJA (SCHEMAT)



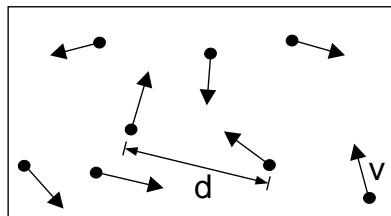
**High Temperature T:**  
thermal velocity  $v$   
density  $d^{-3}$   
"Billiard balls"

**Wysoka temperatura:  
"kule bilardowe"**

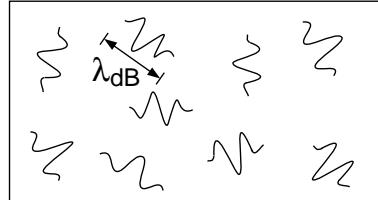
WHEN ATOMS BEHAVE AS WAVES: BOSE-EINSTEIN CONDENSATION AND THE ATOM LASER  
W. Ketterle, Nobel Lecture, December 8, 2001



## KONDENSACJA (SCHEMAT)



**High Temperature T:**  
 thermal velocity  $v$   
 density  $d^{-3}$   
 "Billiard balls"



**Low Temperature T:**  
 De Broglie wavelength  
 $\lambda_{dB} = h/mv \propto T^{-1/2}$   
 "Wave packets"

**Wysoka temperatura:  
 “kule bilardowe”**

**Niska temperatura:  
 “paczka falowa”**

WHEN ATOMS BEHAVE AS WAVES: BOSE-EINSTEIN CONDENSATION AND THE ATOM LASER  
 W. Ketterle, Nobel Lecture, December 8, 2001



## CZY CZĄSTKI UWAŻANE ZA MATERIAŁNE MOGĄ CZASAMI ZACHOWYWAĆ SIĘ JAK FALA?



Louis de Broglie  
Noble prize 1929

$$p = mv \quad p = \frac{h}{\lambda}$$

$$mv = \frac{h}{\lambda}$$

$$\lambda_{dB} = \frac{h}{mv}$$

$$\lambda_{dB} = \frac{h}{\sqrt{3mk_B T}}$$

$$E_{kin} = \frac{p^2}{2m}$$

$$E_{th} = \frac{3}{2}k_B T$$

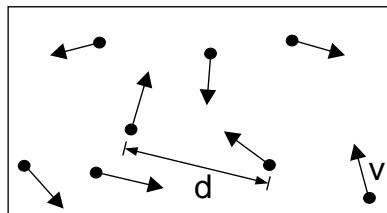
$$p^2 = 3mk_B T$$

# CZY CZĄSTKI UWAŻANE ZA MATERIALNE MOGĄ CZASAMI ZACHOWYWAĆ SIĘ JAK FALA?

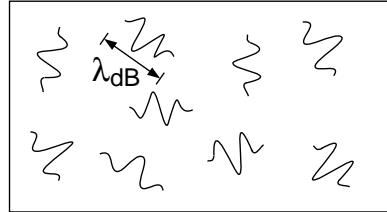
Cząstka	Masa (kg)	Prędkość / Temperatura	Długość fali de Broglie (m)
Człowiek idący	70	1.5 m/s	$6 \times 10^{-36}$
Kula bilardowa	0.2	2 m/s	$2 \times 10^{-33}$
Atom azotu w powietrzu	$5 \times 10^{-26}$	500 m/s	$3 \times 10^{-11}$
Elektron na orbicie atomu wodoru	$9 \times 10^{-31}$	$2 \times 10^6$ m/s	$3 \times 10^{-10}$
Atom rubidu (temp. pokojowa)	$1 \times 10^{-25}$	$3 \times 10^2$ K	$2 \times 10^{-11}$
Atom rubidu (170 nK)	$1 \times 10^{-25}$	$2 \times 10^{-7}$ K	$7 \times 10^{-7}$
Ekscyton (4 K)	$9 \times 10^{-33}$	$4 \times 10^0$ K	$5 \times 10^{-7}$
Polaryton (300 K)	$9 \times 10^{-35}$	$3 \times 10^2$ K	$6 \times 10^{-7}$

- ▶ Rozmiar atomu (m)  $10^{-10}$
- ▶ Rozmiar jądra atomowego (m)  $10^{-14}$

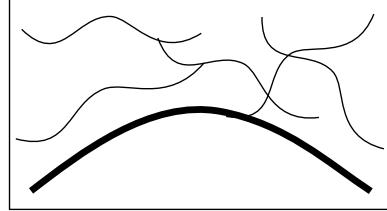
## KONDENSACJA (SCHEMAT)



**High Temperature T:**  
thermal velocity  $v$   
density  $d^{-3}$   
"Billiard balls"



**Low Temperature T:**  
De Broglie wavelength  
 $\lambda_{dB} = h/mv \propto T^{-1/2}$   
"Wave packets"



**T=T<sub>c</sub>:**  
BEC  
 $\lambda_{dB} \approx d$   
"Matter wave overlap"

**Wysoka temperatura:  
"kule bilardowe"**

**Niska temperatura:  
"paczka falowa"**

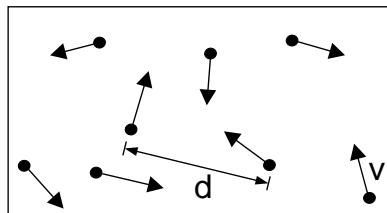
**Temperatura krytyczna:  
"przekrywanie się paczek  
falowych"**

WHEN ATOMS BEHAVE AS WAVES: BOSE-EINSTEIN CONDENSATION AND THE ATOM LASER  
W. Ketterle, Nobel Lecture, December 8, 2001

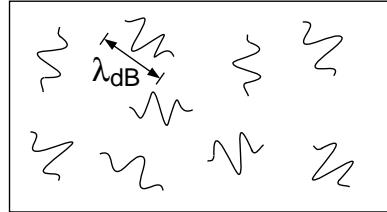


"zupa kwantowa"  
nierozróżnialnych cząstek

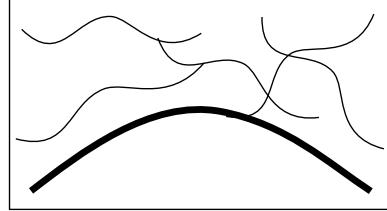
## KONDENSACJA (SCHEMAT)



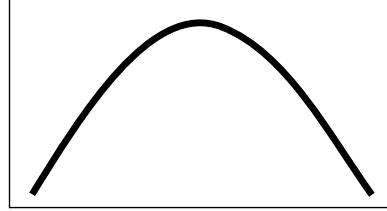
**High Temperature T:**  
thermal velocity  $v$   
density  $d^{-3}$   
"Billiard balls"



**Low Temperature T:**  
De Broglie wavelength  
 $\lambda_{dB} = h/mv \propto T^{-1/2}$   
 "Wave packets"



**T=T<sub>c</sub>:**  
BEC  
  
 $\lambda_{dB} \approx d$   
 "Matter wave overlap"



**T=0:**  
Pure Bose condensate  
  
 "Giant matter wave"

**Wysoka temperatura:  
"kule bilardowe"**

**Niska temperatura:  
"paczka falowa"**

**Temperatura krytyczna:  
"przekrywanie się paczek falowych"**

**Zero bezwzględne:  
"makroskopowa fala materii"**

WHEN ATOMS BEHAVE AS WAVES: BOSE-EINSTEIN CONDENSATION AND THE ATOM LASER  
W. Ketterle, Nobel Lecture, December 8, 2001



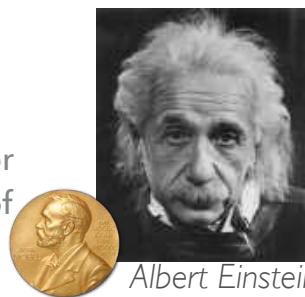
"zupa kwantowa"  
nierozróżnialnych cząstek

„FOR THOSE WHO HAVE CONFERRED THE GREATEST BENEFIT TO HUMANKIND”

## NAGRODY NOBLA ZWIĄZANE Z BEC

▶ Nobel 1921

**Albert Einstein** “for his services to Theoretical Physics, and especially for his discovery of the law of the photoelectric effect”



Albert Einstein

▶ Nobel 1929

**Prince Louis-Victor Pierre Raymond de Broglie** “for his discovery of the wave nature of electrons”



De Broglie

Satyendra Bose



▶ Nobel 1937

**Clinton Joseph Davisson and George Paget Thomson** “for their experimental discovery of the diffraction of electrons by crystals”



Davisson - Germer



GP Thomson

▶ Nobel 1997

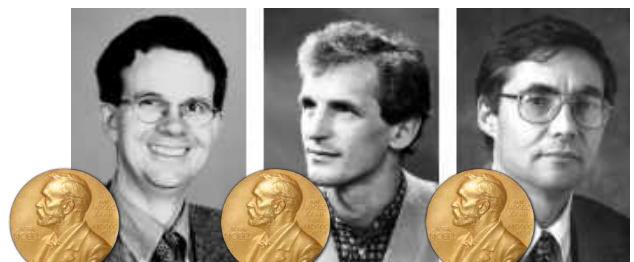
**Steven Chu, Claude Cohen-Tannoudji and William D. Phillips** “for development of methods to cool and trap atoms with laser light”



Steven Chu    Claude Cohen-Tannoudji    William D. Phillips

▶ Nobel 2001

**Eric A. Cornell, Wolfgang Ketterle and Carl E. Wieman** “for the achievement of Bose-Einstein condensation in dilute gases of alkali atoms, and for early fundamental studies of the properties of the condensates”



Eric Cornell    Wolfgang Ketterle    Carl Wieman

## KONDENSAT BOSEGO-EINSTEINA - EKSPERYMENT

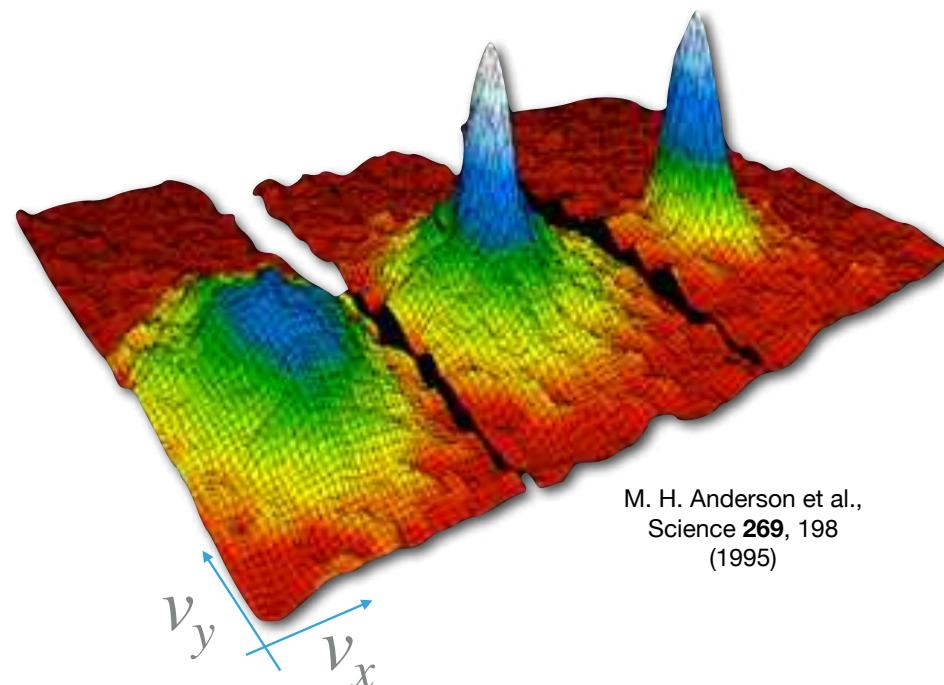
### OSIĄGNIĘCIE EKSPERYMENALNE



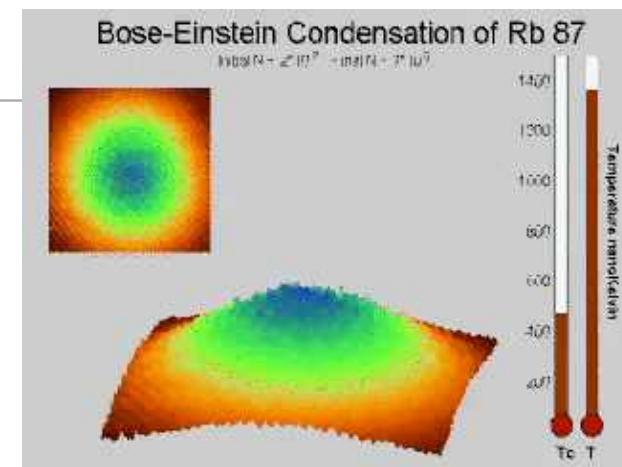
Carl Wieman  
Eric Cornell

University of Colorado at  
Boulder NIST-JILA

Velocity distribution of gas  
of Rb atoms cooled to  
**170nK !!!**

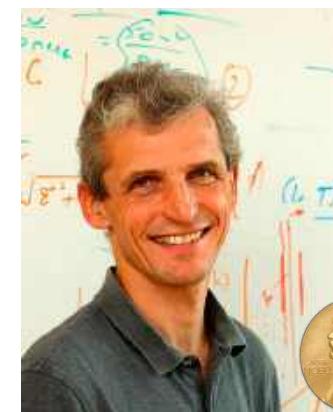


Nobel prize in Physics 2001



<http://www.colorado.edu/physics/2000/bec/images/evap2.gif>

Sodium atoms  
(100 more atoms)



Wolfgang Ketterle  
Massachusetts Institute of Technology

## GĘSTOŚĆ KRYTYCZNA I TEMPERATURA KRYTYCZNA

$$T \approx \frac{\hbar}{m} n^{2/3}$$

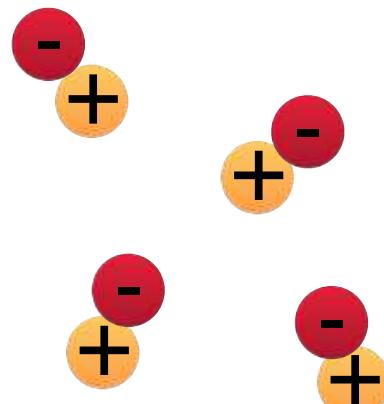
	Atomy Rb	
m	$10^4 m_e$	$10^{-4} m_e$
T	$10^{-7} K$	300 K

KWANTOWE ODCHUDZANIE

## KWANTOWE ODCHUDZANIE

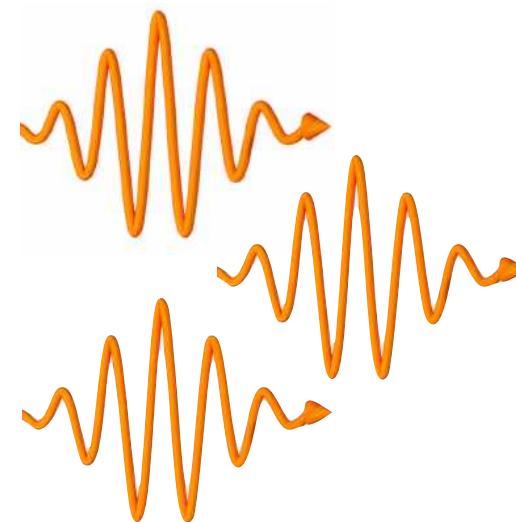
► Elektrony &  
kwazi-elektrony

$$m = 10^{-2}m_e$$



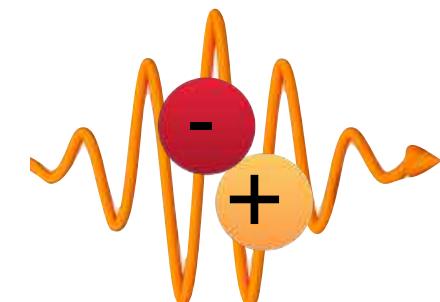
► Fotony

$$m = 0$$

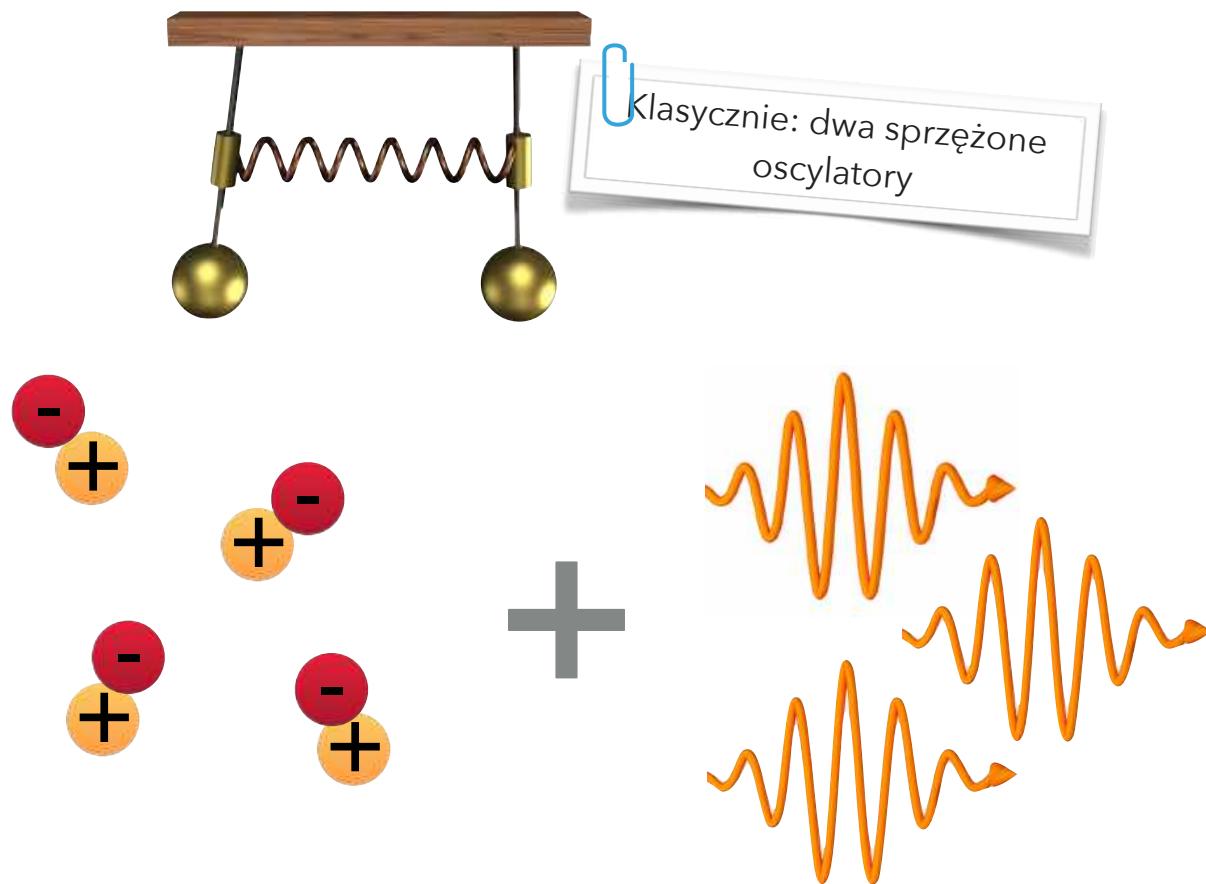


► *Polarytony*  
Cząstki **ubrane**  
światło-materia

$$m = 10^{-4}m_e$$

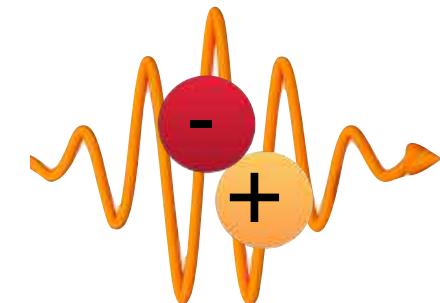


## KWANTOWE ODCHUDZANIE



▶ *Polarytony*  
Cząstki ubrane  
światło-materia

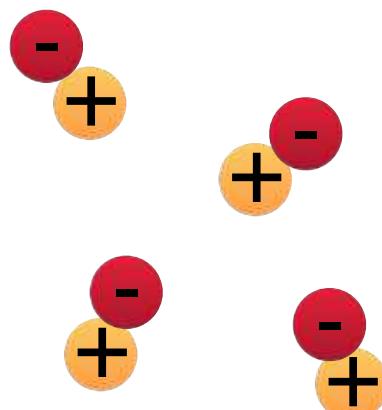
$$m = 10^{-4} m_e$$



## KWANTOWE ODCHUDZANIE

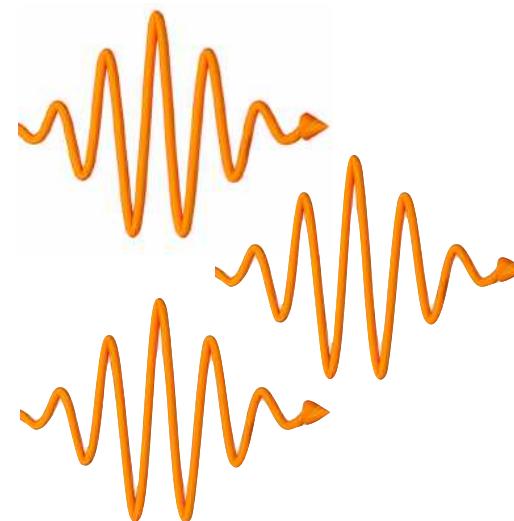
- ▶ Elektrony & kwazi-elektrony

$$m = 10^{-2}m_e$$



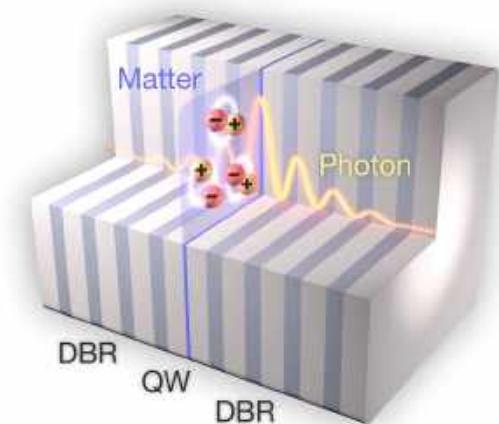
- ▶ Fotony

$$m = 0$$



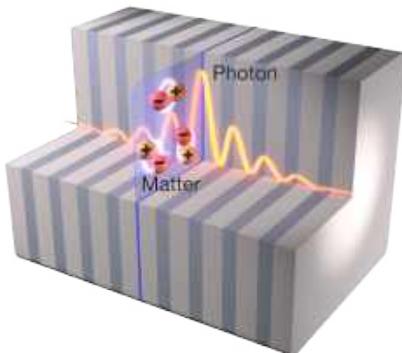
- ▶ *Polariton*
- ▶ Cząstki ubrane światło-materia

$$m = 10^{-4}m_e$$

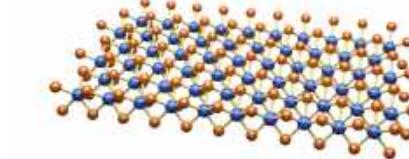
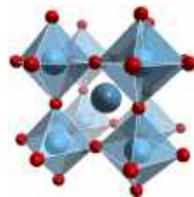


- ▶ Specjalnie zaprojektowana struktura: wnęka optyczna z materiałem aktywnym

## MIKROWNĘKA Optyczna & MATERIAŁ AKTYWNY

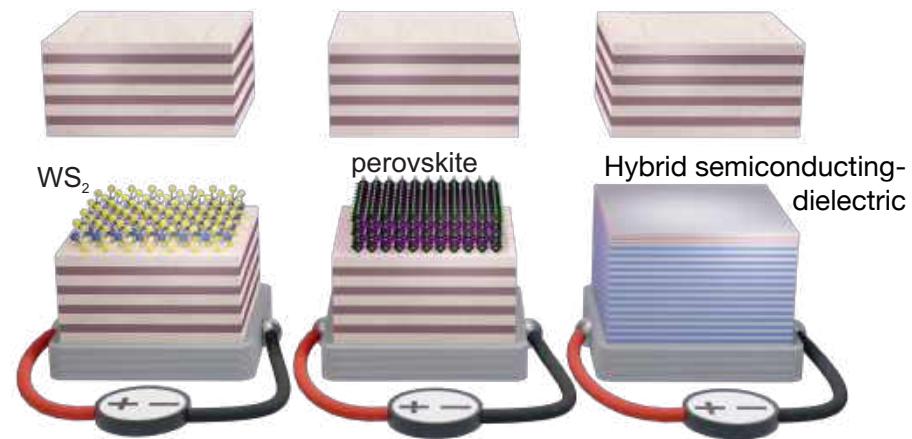


- ▶ Szeroka klasa półprzewodników:  
**GaAs, CdTe, GaN**
- ▶ Dichalkogenki metali przejściowych
- ▶ Perowskity

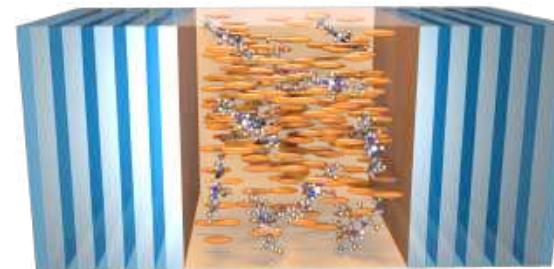
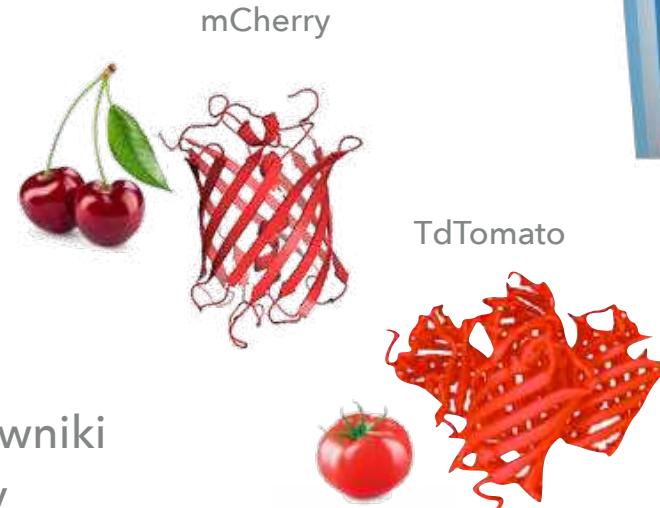
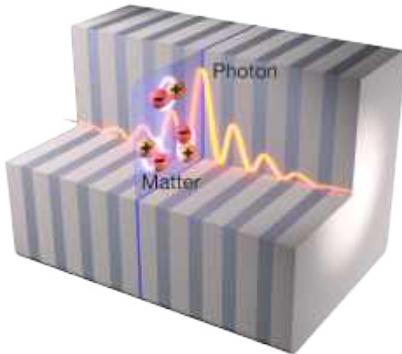


CsPbBr<sub>3</sub>

MoSe<sub>2</sub>



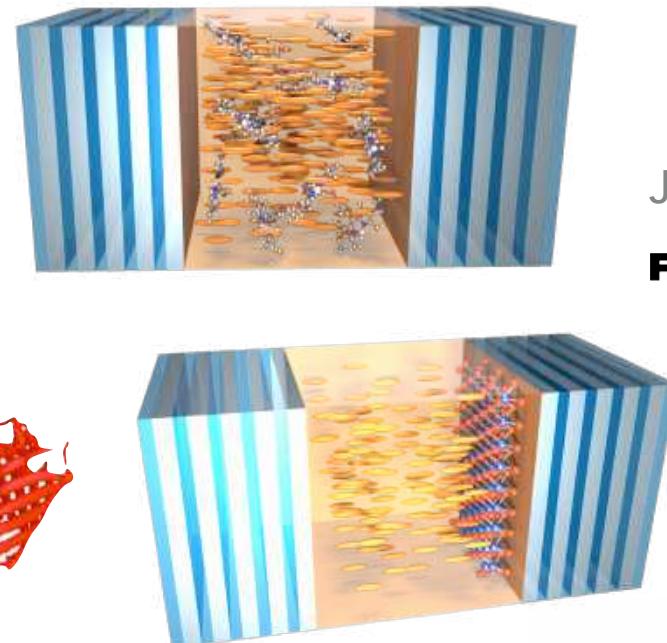
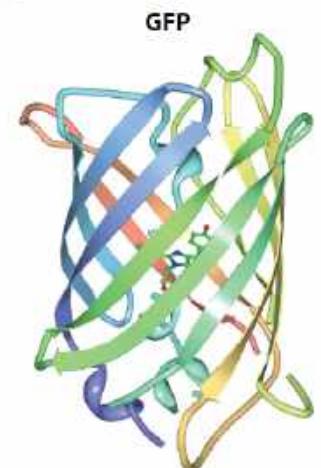
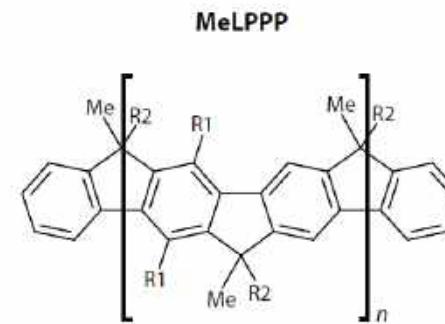
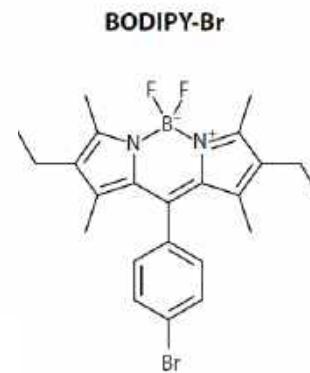
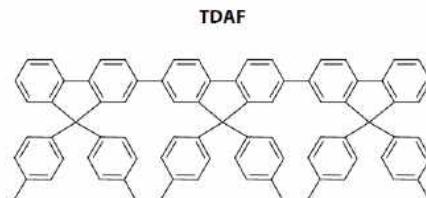
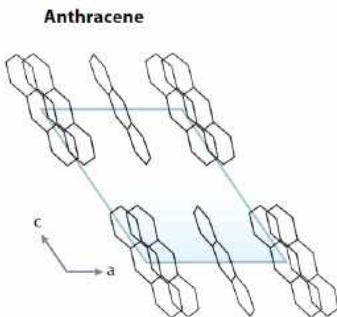
## MIKROWNĘKA Optyczna & MATERIAŁ AKTYWNY



Jacek Szczytko

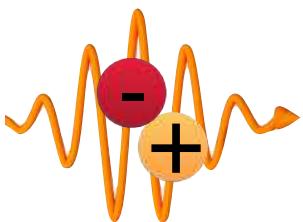
**FACULTY OF  
PHYSICS**  
UNIVERSITY OF WARSAW

- ▶ Materiały organiczne: barwniki laserowe, białka, polimery
- ▶ Dwójłomne ciekłe kryształy



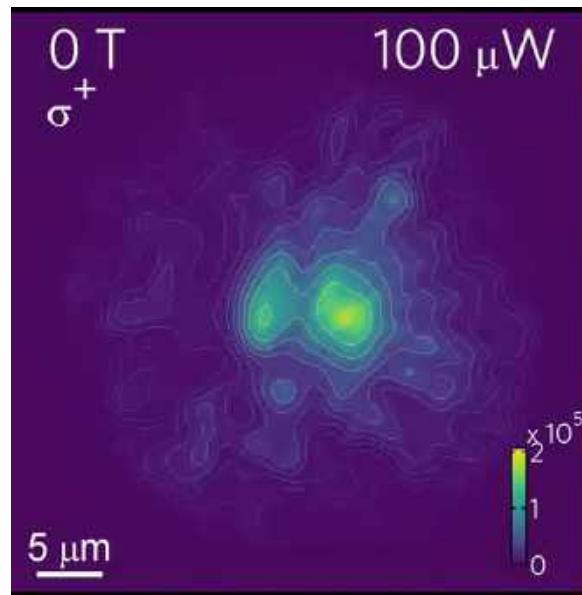
## KONDENSAT POLARYTONÓW

# POJEDYNCZY KONDENSAT

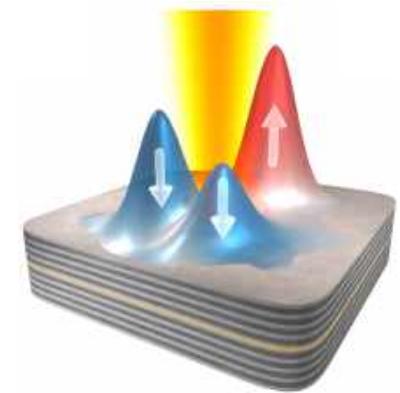


### Polarytony

- ▶ Mała masa  $10^{-4} m_e$
- ▶ Bozony
- ▶ Oddziałują
- ▶ Łatwy dostęp - pochłaniają światło i emitują światło podobne do lasera po przejściu fazowym do kondensatu Bosego-Einsteina



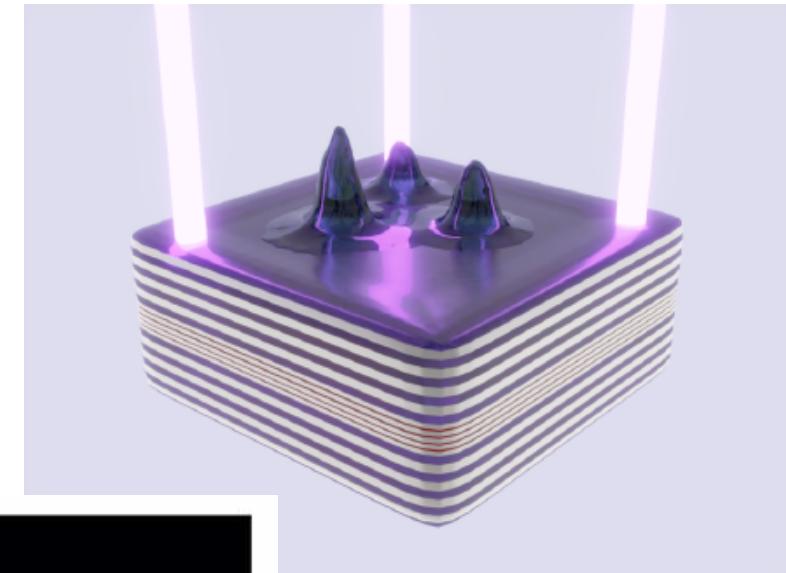
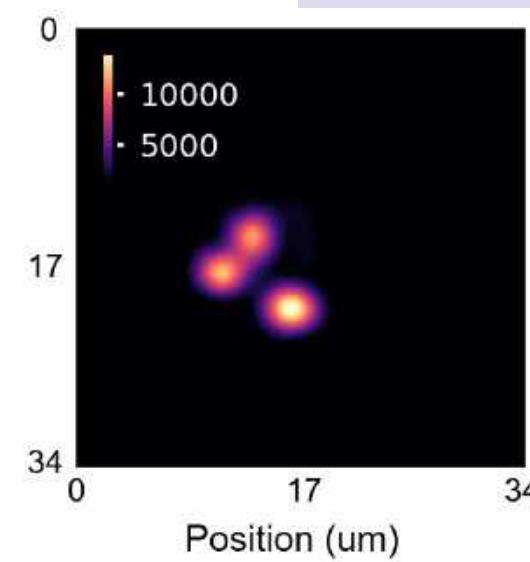
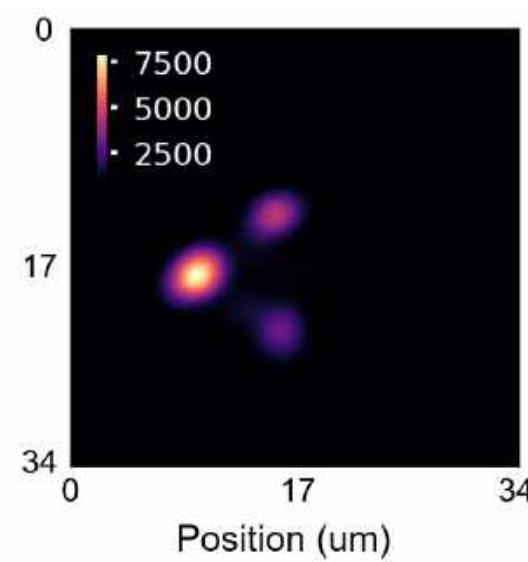
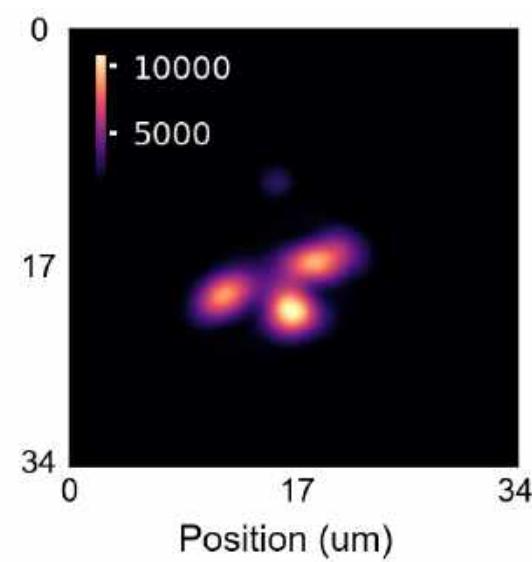
### KONDENSATY SPOLARYZOWANE SPINOWO



**FACULTY OF  
PHYSICS**  
UNIVERSITY OF WARSAW

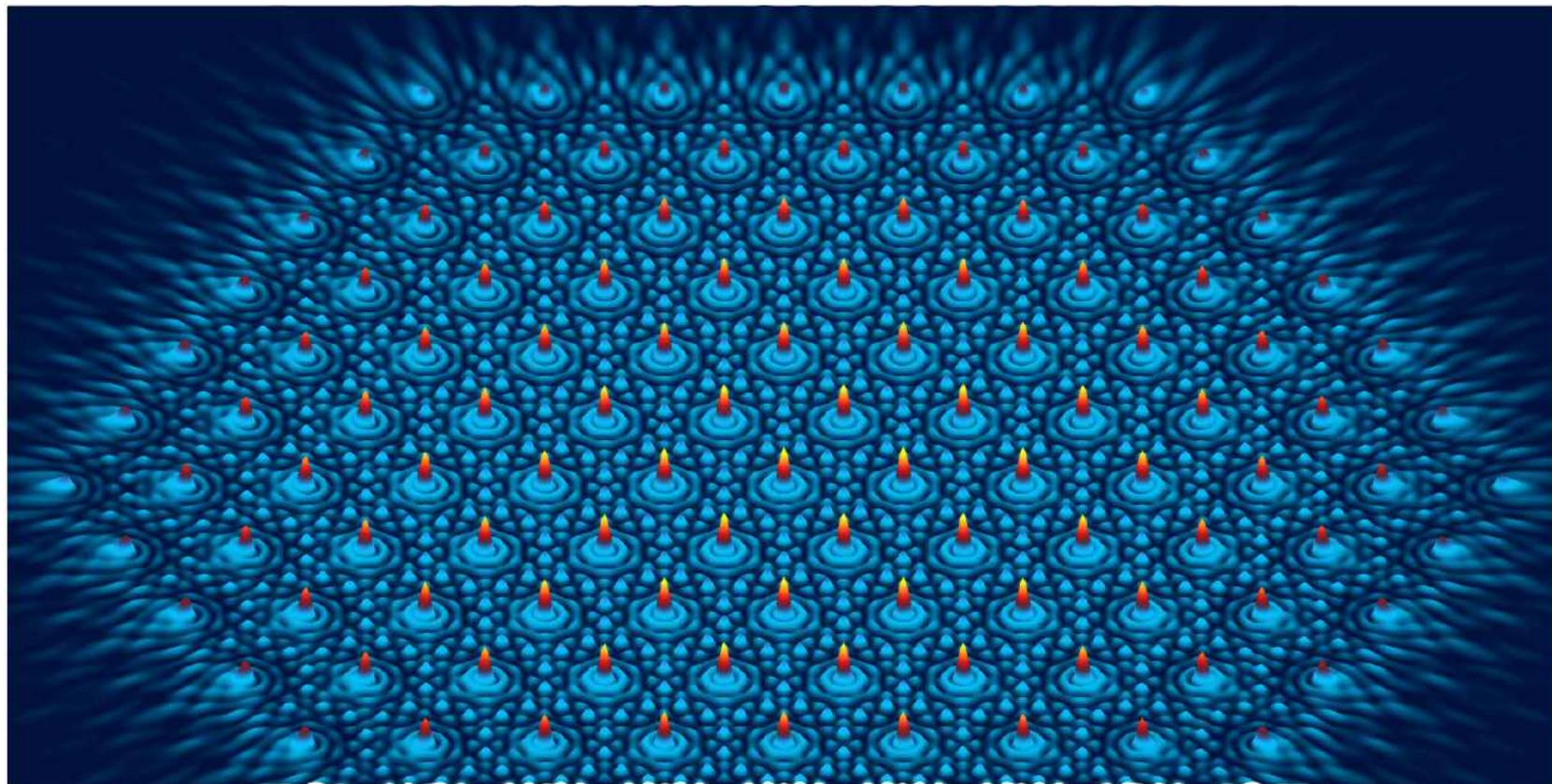
KONDENSAT POLARYTONÓW

## TRZY KONDENSATY



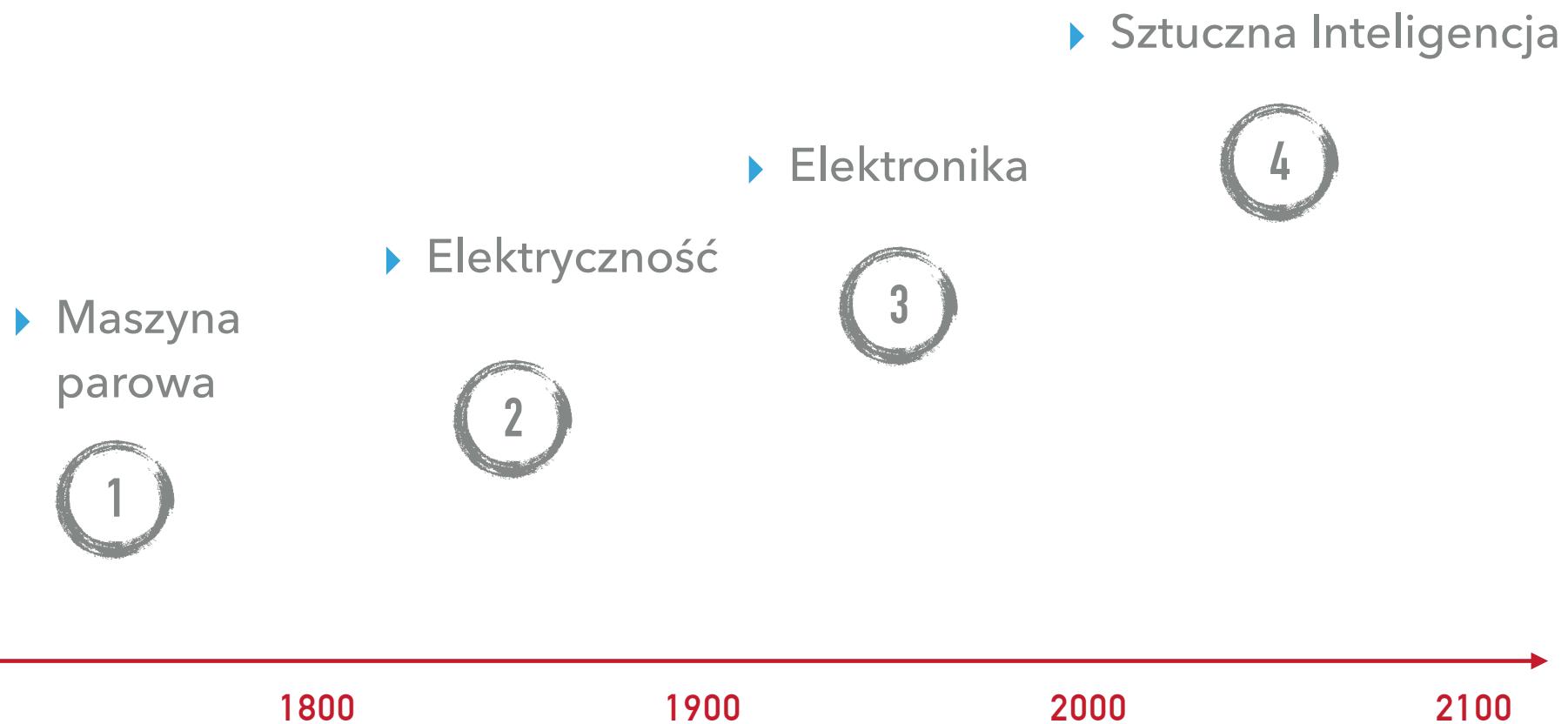
KONDENSAT POLARYTONÓW - SIEĆ

## KONDENSATY POLARYTONOWE - ODDZIAŁUJĄCE SIECI



Helgi Sigurdsson, FUW & Univ. of Iceland,  
Simulations of expanding polariton condensates

## DOKĄD PROWADZI NAS CZWARTA REWOLUCJA PRZEMYSŁOWA?



## DLACZEGO TERAZ?

### DANE

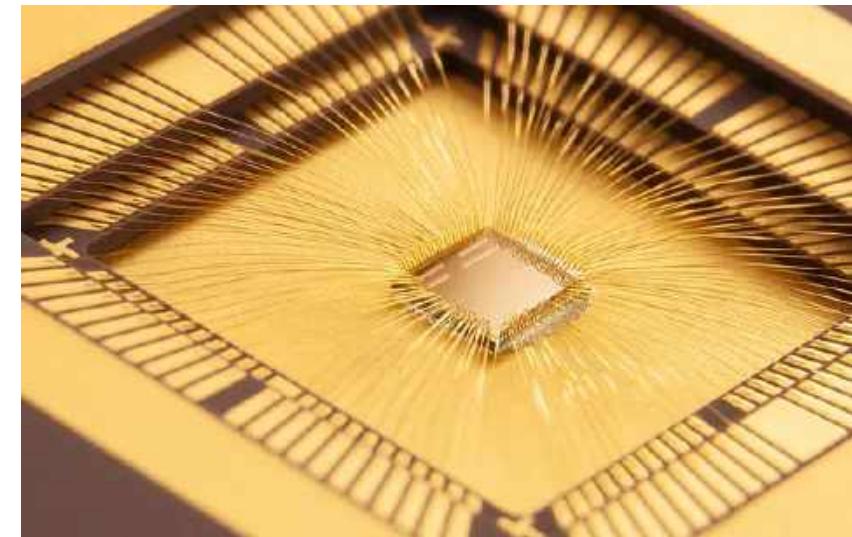
100 GB

- ▶ 1992 - per day
- ▶ 1997 - per 1h
- ▶ 2002 - per sec
- ▶ now- 50 TB/sec

### ALGORYTMY

- ▶ Uczenie maszynowe – przechowuje dane podczas treningu, dokonuje przewidywań na podstawie niedawnej przeszłości

### SPRZĘT



## JAKIE SĄ POTRZEBY IMPLEMENTACJI SPRZĘTOWEJ AI?



### Muszka owocowa

- ▶ 10 000 neuronów

### Ludzki mózg

- ▶  $10^{11}$  neuronów
- ▶  $10^{15}$  połączeń synaptycznych
- ▶  $10^{18}$  operacji na sekundę
- ▶ 20W zużycia mocy

### Nicień

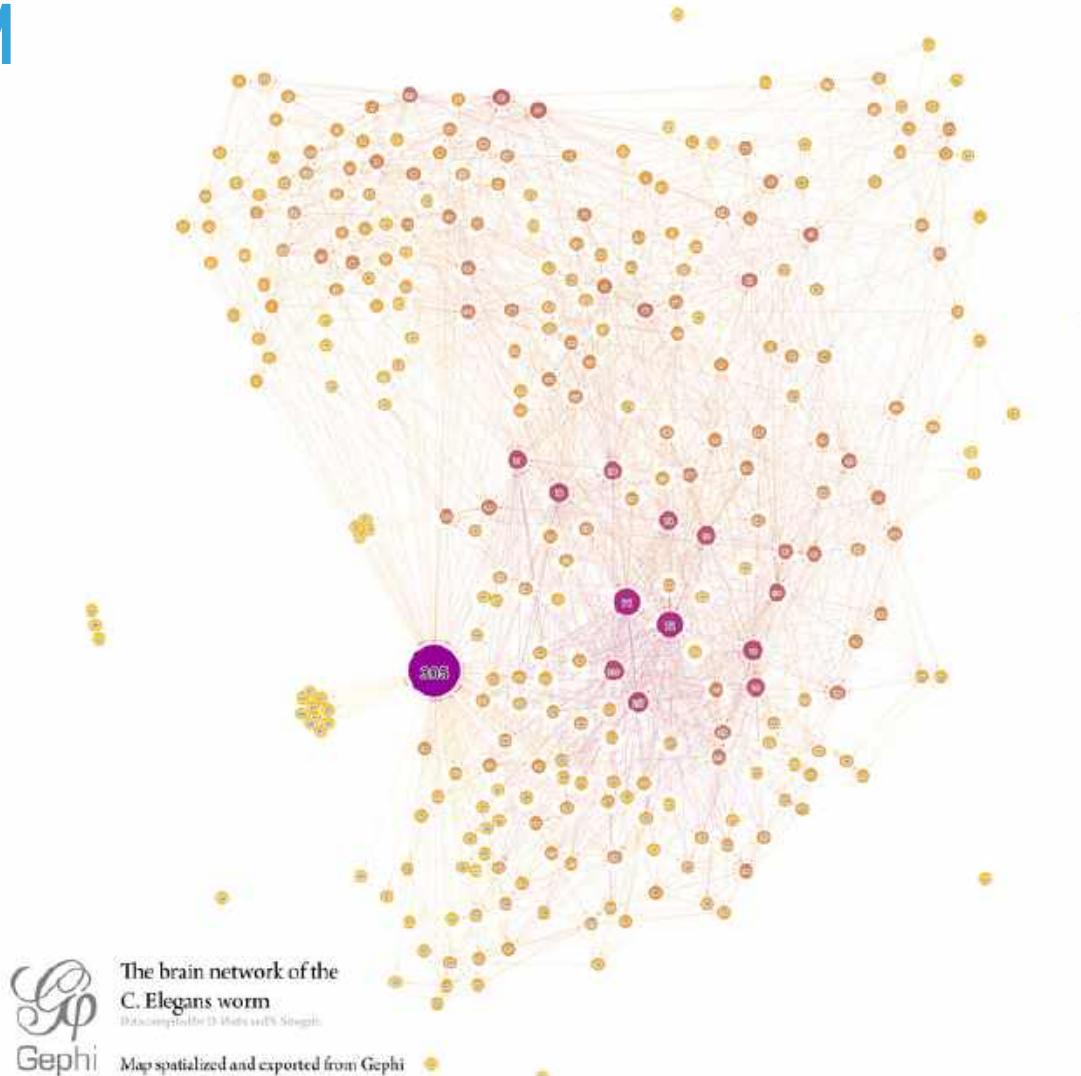
- ▶ 302 neurony



Bob Goldstein <http://labs.bio.unc.edu/Goldstein/movies.html>

Connectome computed by D.Watts and S.Strogatz in 1986

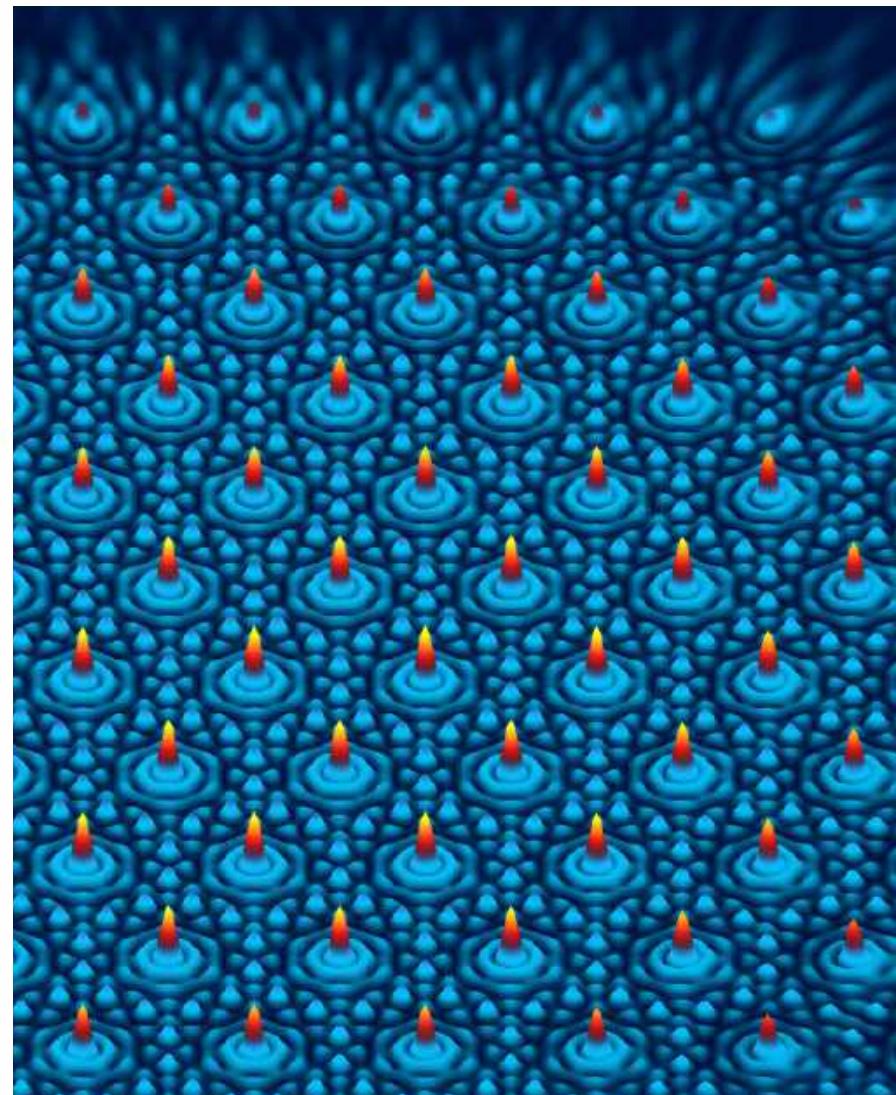
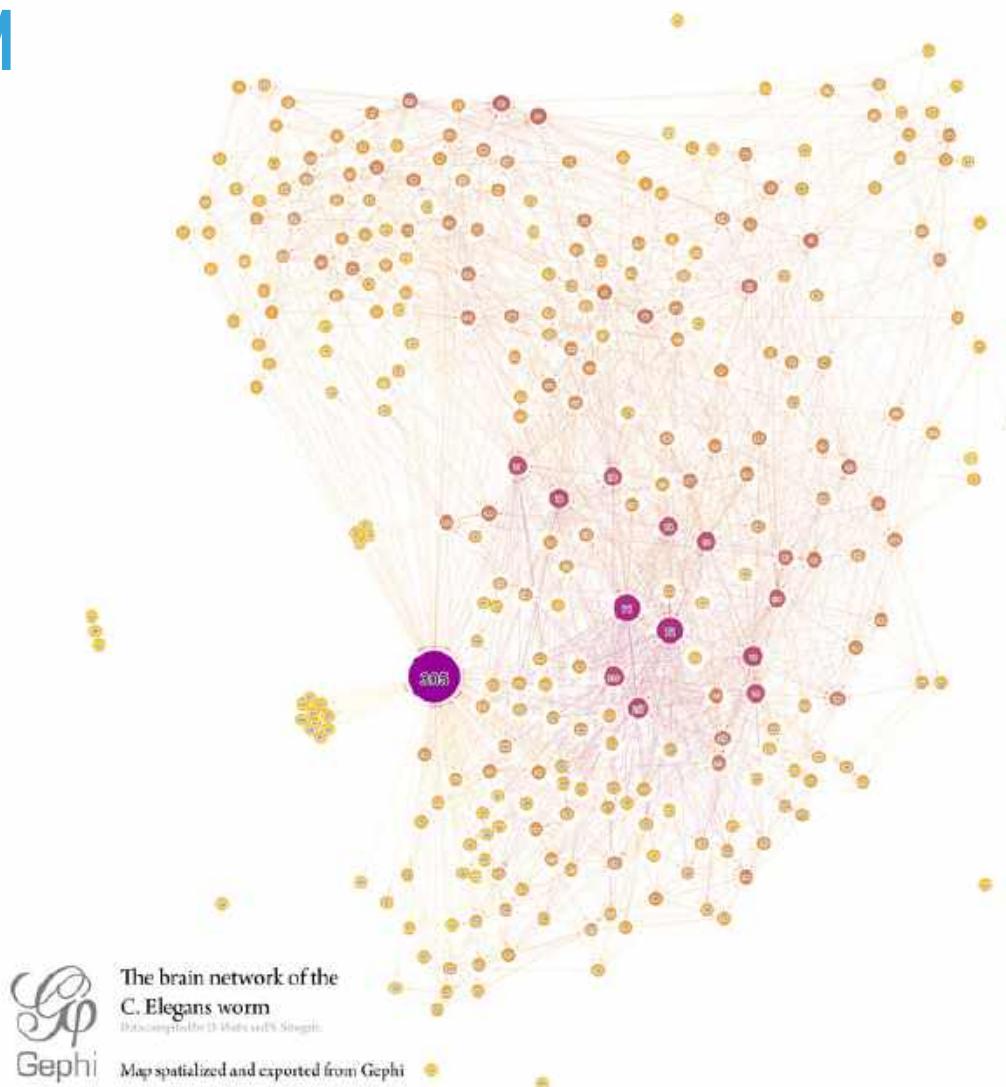
## KONEKTOM



### Nicień (*c. elegans*)

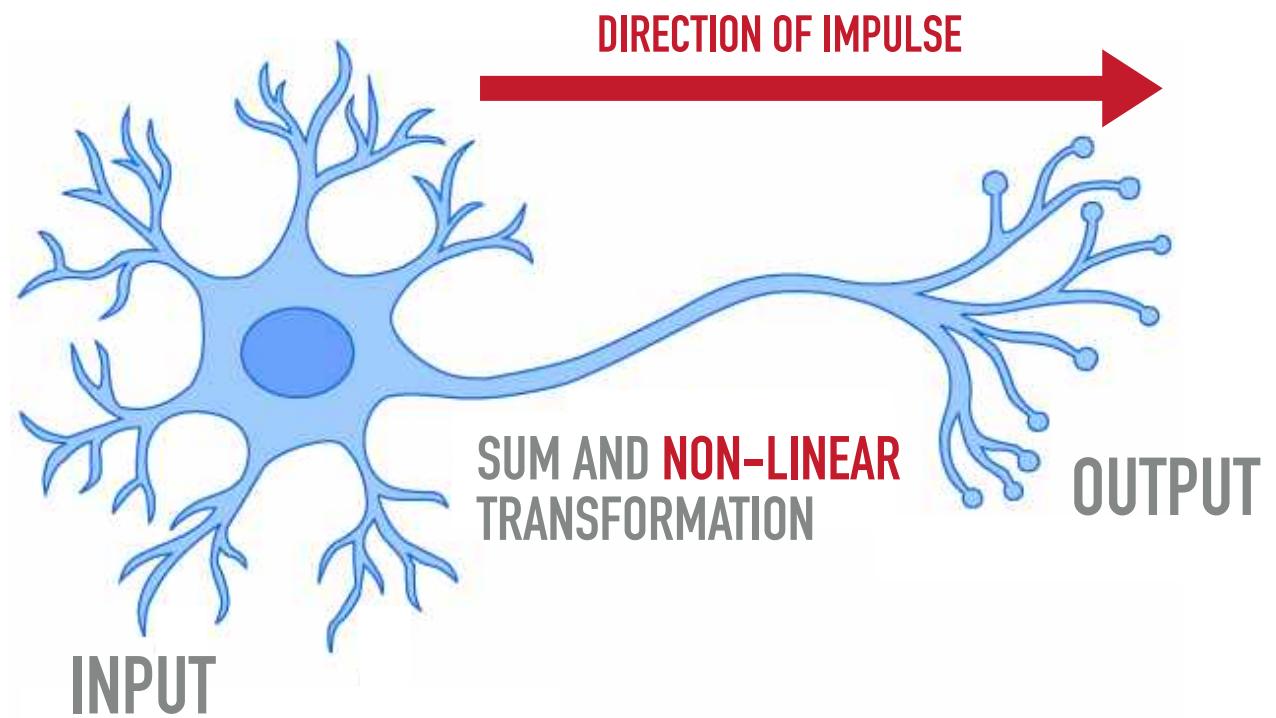
- ▶ 302 neurony
- ▶ 5000 synapsy

## KONEKTOM



## NEURON

- ▶ Elektrycznie aktywny
- ▶ Przenosi i generuje sygnały



NEUROMORFICZNY = IMITUJĄCY DZIAŁANIE MÓZGU

## AI - UCZENIE MASZYNOWE

- ▶ AI używa algorytmów statystycznych do nauki na przykładach
- ▶ Przykłady - „dane”
- ▶ Wiele przykładów - „big data”
- ▶ Algorytmy są proste, ale ilość danych wzrasta ogromnie



INPUT



MODEL - STATISTICAL ALGORITHM

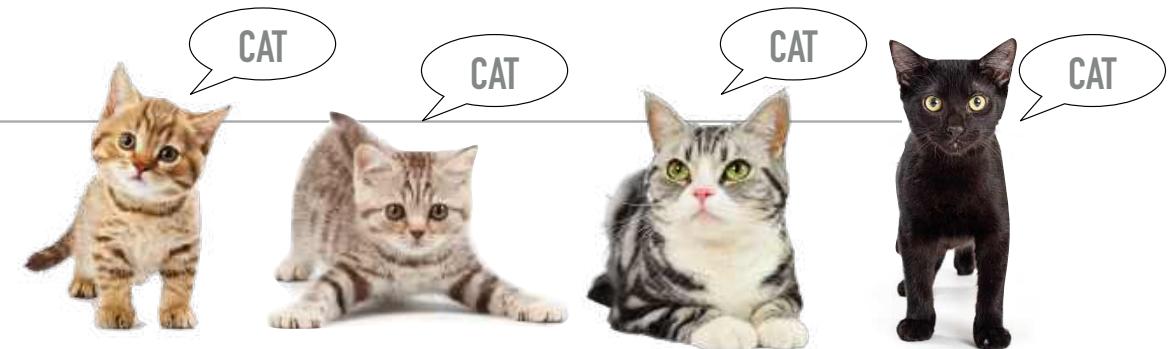
ALGORITHM



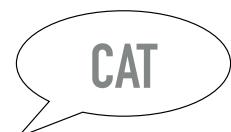
SUM AND NON-LINEAR  
TRANSFORMATION



OUTPUT



EXAMPLES



NEUROMORFICZNY = IMITUJĄCY DZIAŁANIE MÓZGU

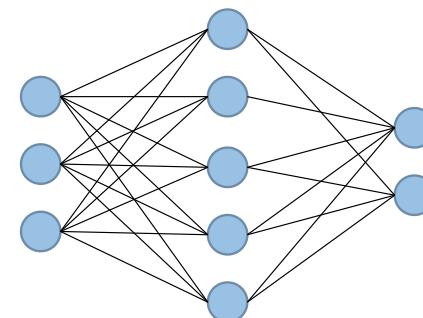
## AI - UCZENIE MASZYNOWE

- ▶ AI używa algorytmów statystycznych do nauki na przykładach
- ▶ Przykłady - „dane”
- ▶ Wiele przykładów - „big data”
- ▶ Algorytmy są proste, ale ilość danych wzrasta ogromnie

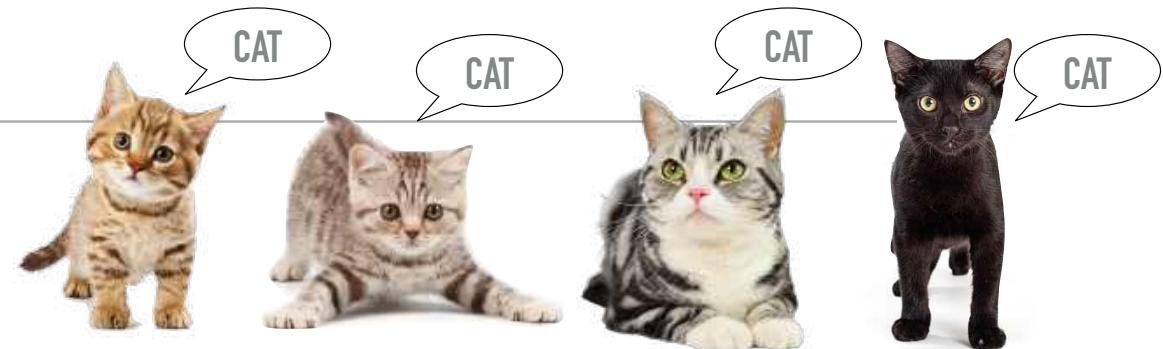


MODEL - STATISTICAL ALGORITHM

ALGORITHM



OUTPUT



EXAMPLES



NEUROMORFICZNY = IMITUJĄCY DZIAŁANIE MÓZGU

## AI - UCZENIE MASZYNOWE



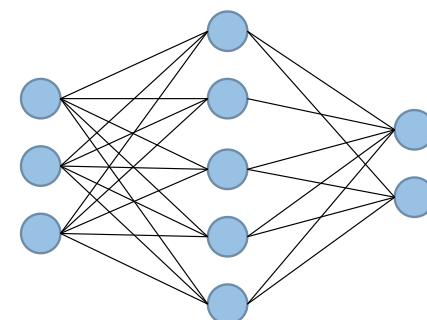
INPUT



EXAMPLES



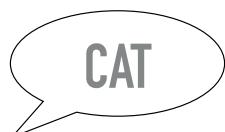
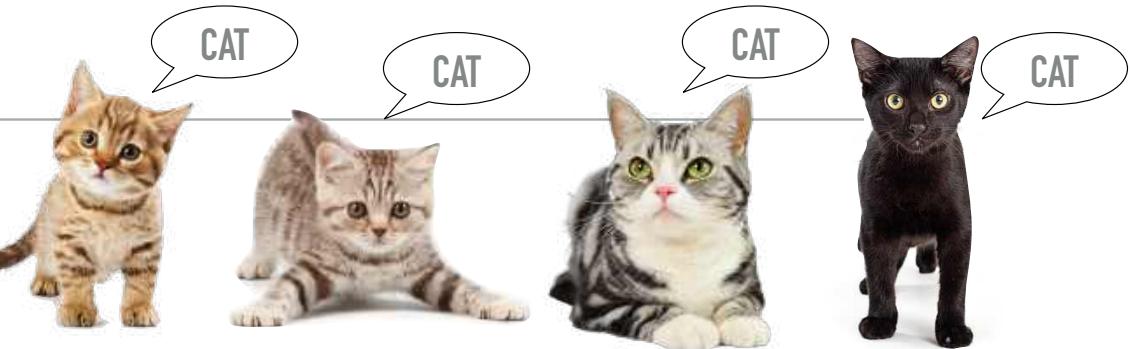
ALGORITHM



MODEL - STATISTICAL ALGORITHM

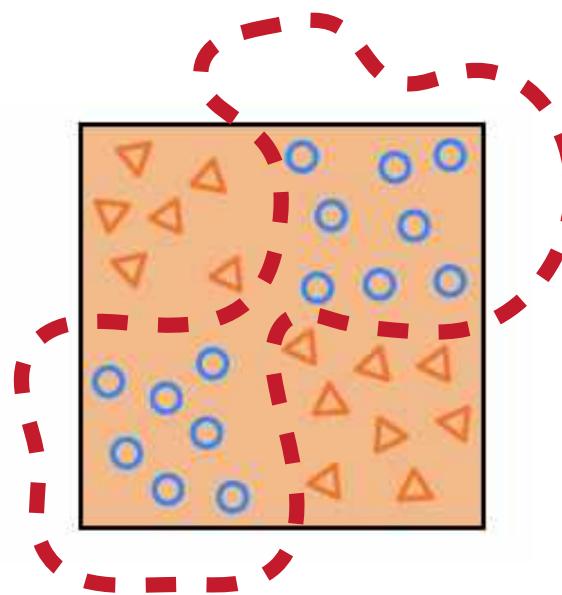
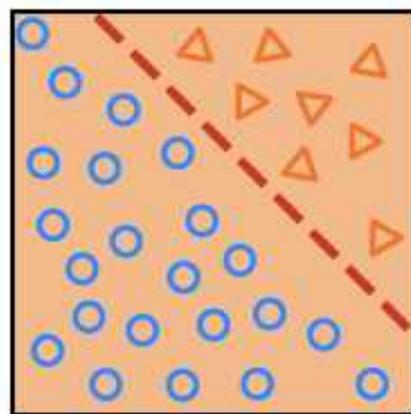


OUTPUT



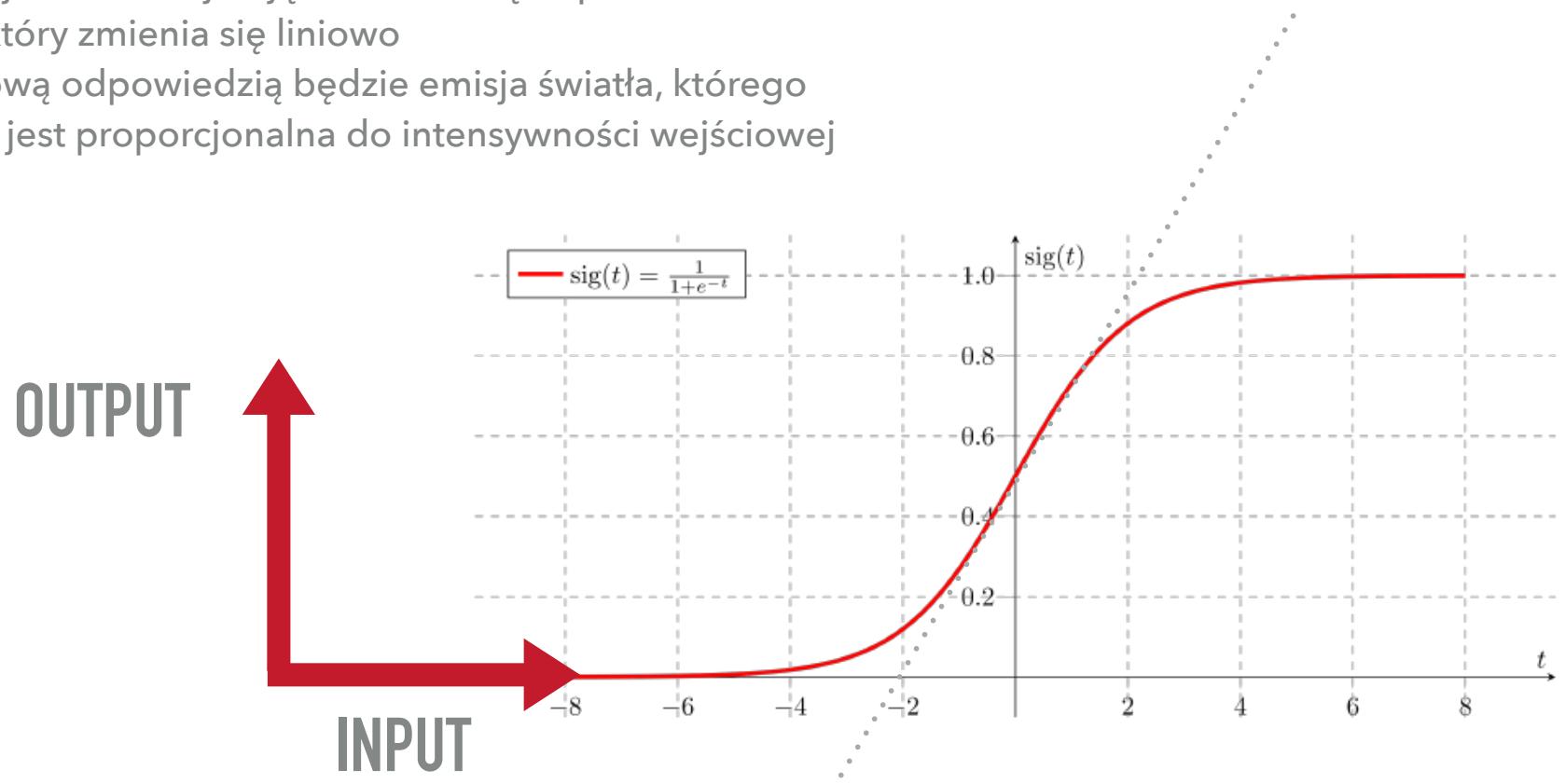
## PROBLEM LINIOWO ROZDZIELNY I NIEROZDZIELNY

- ▶ Liniowo rozdzielny: istnieje funkcja liniowa oddzielająca klasy
- ▶ Nieliniowo rozdzielny: niemożliwe jest pełne rozdzielenie klas za pomocą jednej funkcji liniowej – wymagana jest funkcja nieliniowa



## EFEKTY NIELINIOWE WYMAGANE DO WYDAJNEGO PRZETWARZANIA DANYCH

- ▶ Nieliniowości to zjawiska obejmujące nieliniową odpowiedź na dowolny sygnał który zmienia się liniowo
- ▶ W optyce nieliniową odpowiedzią będzie emisja światła, którego intensywność nie jest proporcjonalna do intensywności wejściowej



## IMAGE RECOGNITION

## INEFFICIENCY

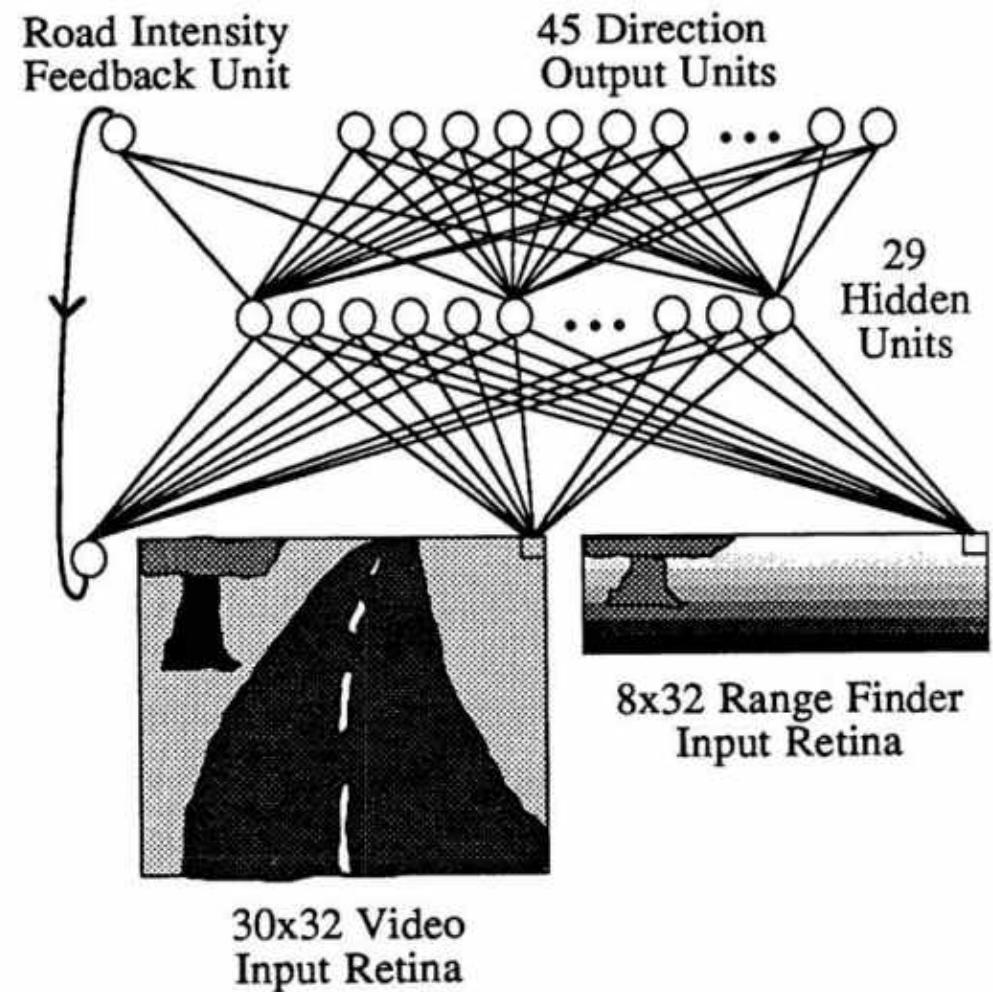


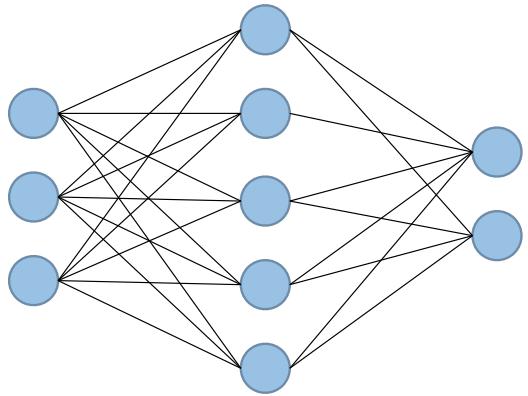
Figure 1: ALVINN Architecture

Self Driving Cars [S1E2: ALVINN], Welch Labs, YouTube

Pomerleau, D.A. (1988) 'ALVINN: An Autonomous Land Vehicle in a Neural Network', in Advances in Neural Information Processing Systems.

## LANGUAGE MODEL

### CHAT GPT



### Characteristic parameters

- ▶ 175 billion (pl. *milliard*) parameters
- ▶ 24 layers
- ▶ Feedforward network with a self-attention mechanism
- ▶ Calculates probabilities of next words based on the previous sentence

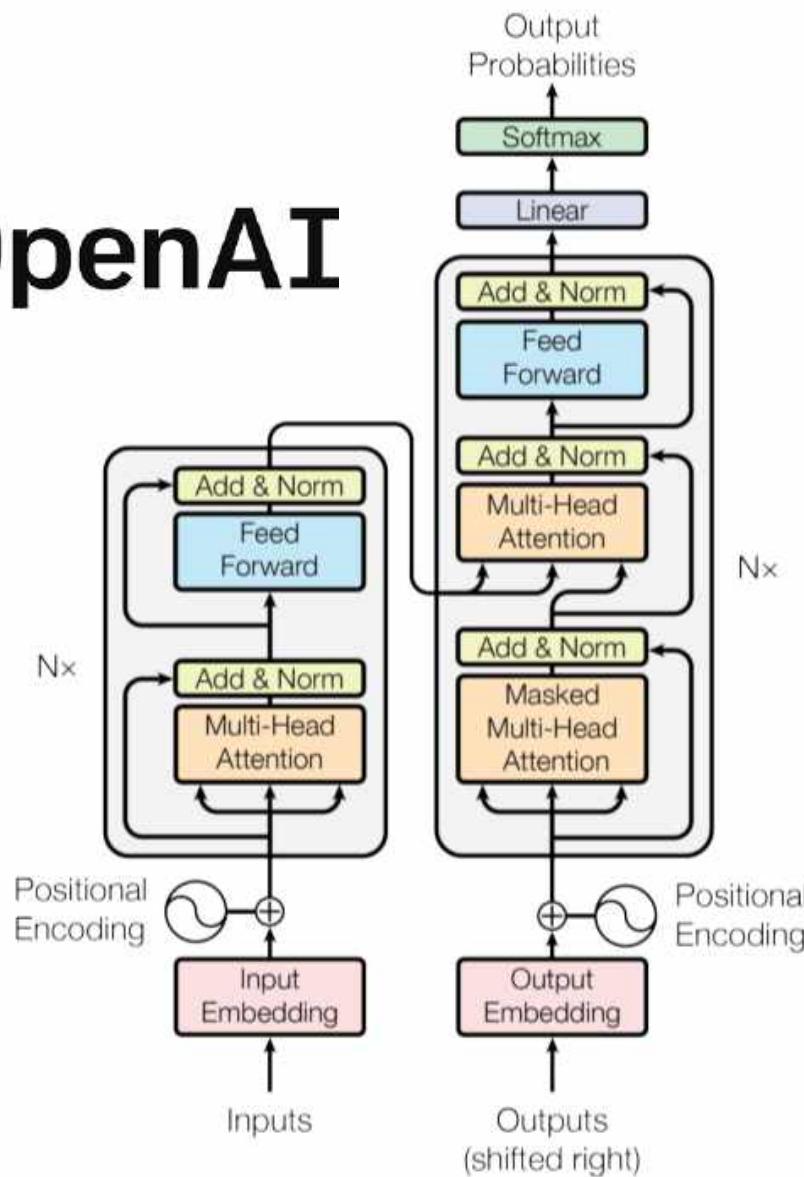
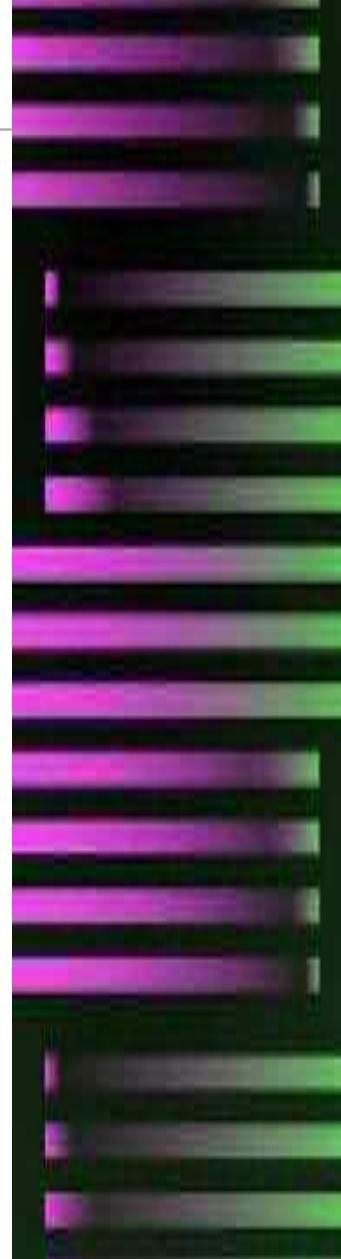


Figure 1: The Transformer - model architecture.

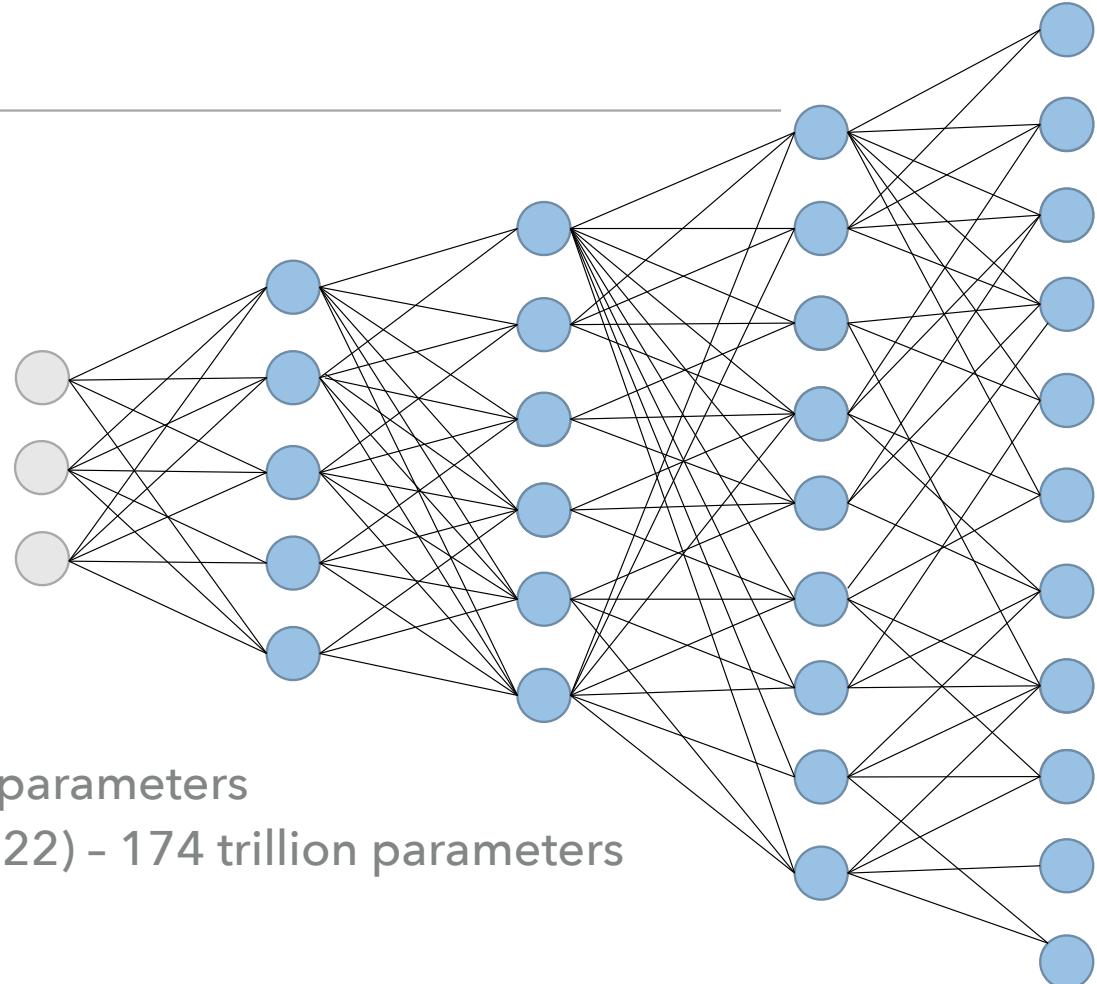


## DEEP LEARNING

Bigger the problem  
Bigger the network

- ▶ Google AI language model (2021) - 1.6 trillion parameters
- ▶ BaGuLu 37-million-core Chinese computer (2022) - 174 trillion parameters

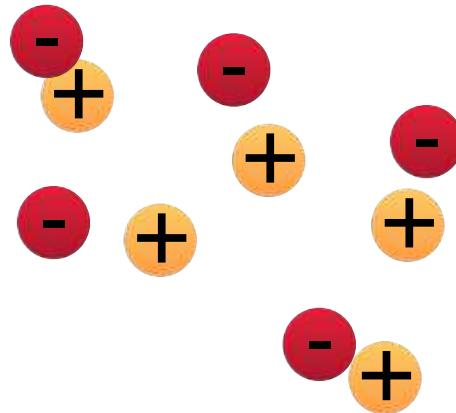
▶ Głębokie uczenie się staje się coraz bardziej wymagające pod względem wydajności obliczeniowej i efektywności energetycznej



## PHOTONIC AI

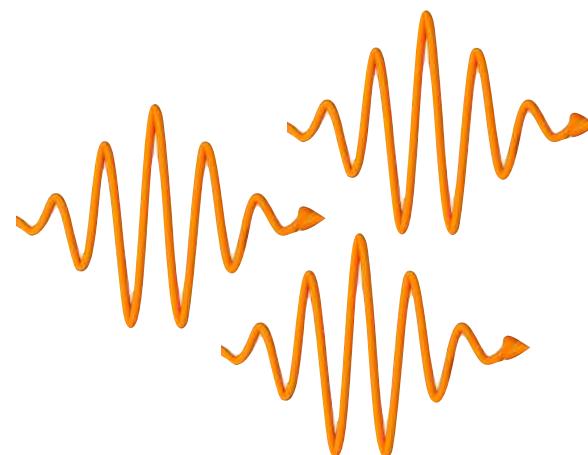
### Elektronny

- ▶ Przetwarzanie informacji
- ▶ Silnie oddziałują
- ▶ Znaczne straty (opór)
- ▶ Pasmo przenoszenia (kHz - MHz)



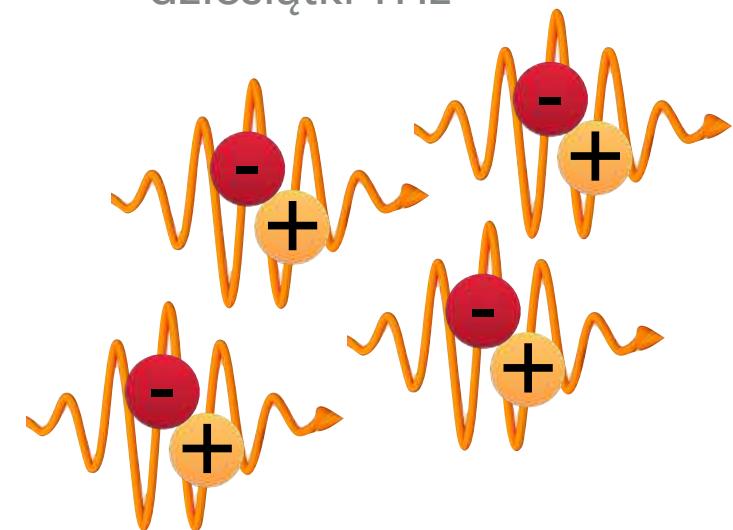
### Fotony

- ▶ Przesyłanie informacji
- ▶ Nie oddziałują
- ▶ Bez strat (prawie)
- ▶ Pasmo przenoszenia dziesiątki THz

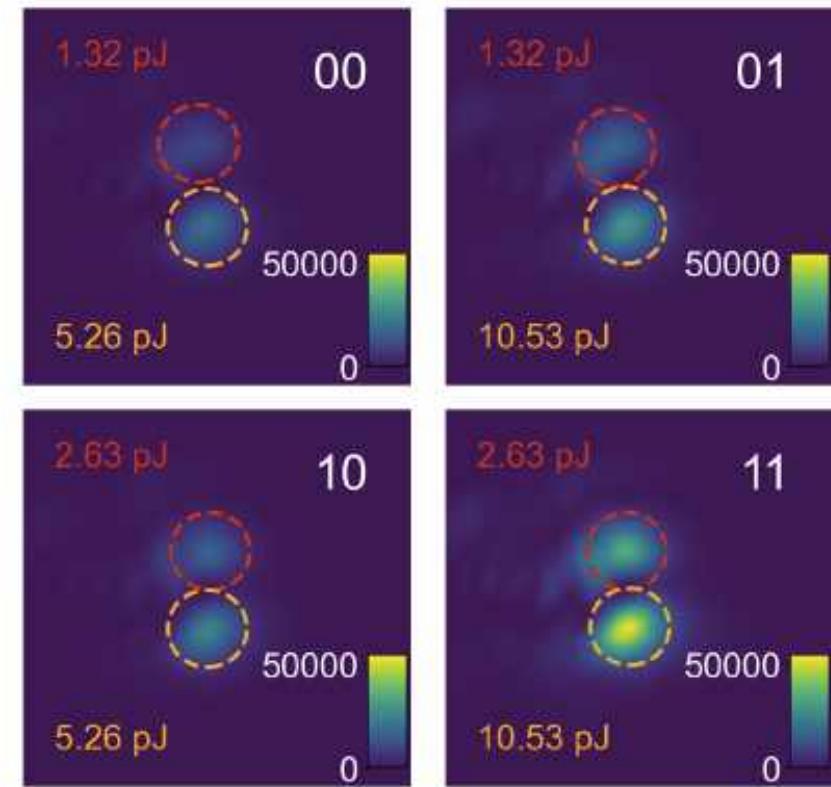
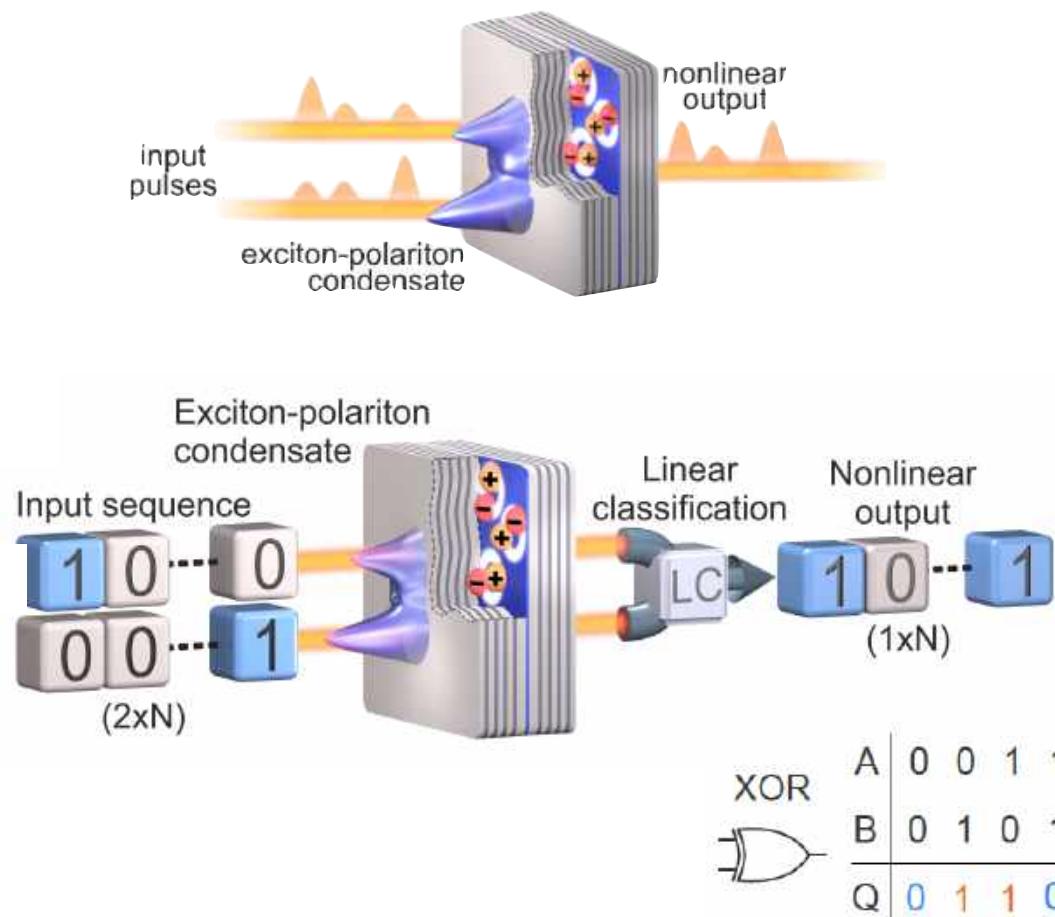


### Polarytony - mieszane kwazicząstki światło-materia

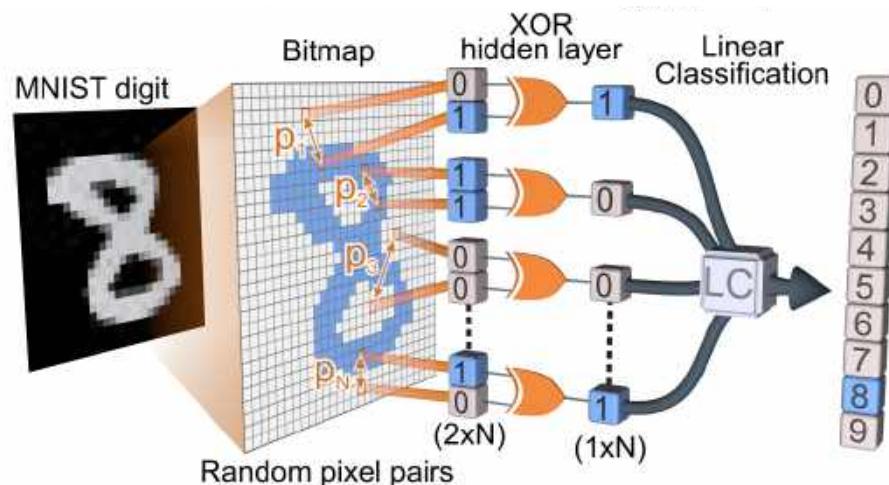
- ▶ Przetwarzanie informacji
- ▶ Oddziałują
- ▶ Prawie bez strat
- ▶ Pasmo przenoszenia dziesiątki THz



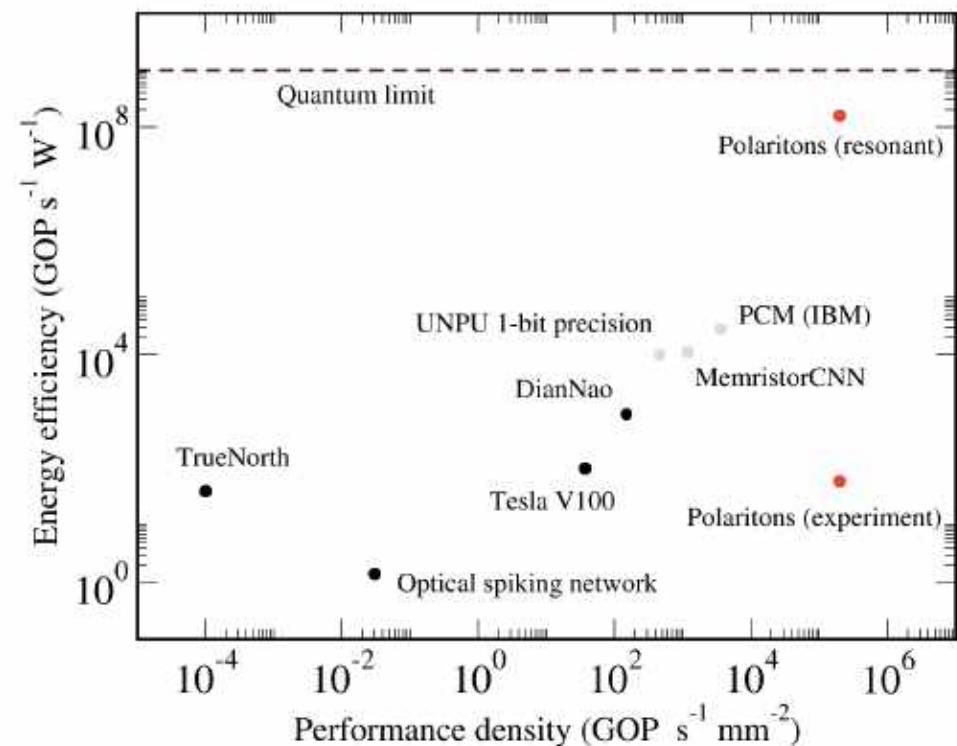
## POLARITON XOR GATE



# BINARIZED POLARITON NEURAL NETWORKS



OPTO-ELECTRONIC IMPLEMENTATION



## WHO WE ARE? (PERMANENT STAFF AND PHD STUDENTS)



▶ Barbara Piętka

**Theory experts**



▶ Krzysztof Tyszka

**Perovskites  
experts**



▶ Magda Furan



**LC cavity  
experts**



▶ Jacek Szczytko



▶ Piotr Kapuściński



▶ Helgi Sigurdsson



▶ Andrzej Opala



▶ Aniela  
Woyciechowska



▶ Maciej Zaremba



▶ Marcin Muszyński



▶ Przemek Oliwa



IMPORTANT: ALSO CONTRIBUTED TO THIS WORK &/OR INSPIRED



- ▶ Anna Szerling
- ▶ Marek Ekielski
- ▶ Kamil Kosiel
- ▶ Karolina Bogdanowicz
- ▶ Marek Guziewicz



- ▶ Wiktor Piecek
- ▶ Przemysław Morawiak
- ▶ Przemysław Kula



Politechnika  
Łódzka

- ▶ Michał Matuszewski
- ▶ Tomasz Czyszanowski



Military  
University  
of Technology



- ▶ Karolina Łempicka-Mirek  
@ ETH Zurich



- ▶ Mateusz Król



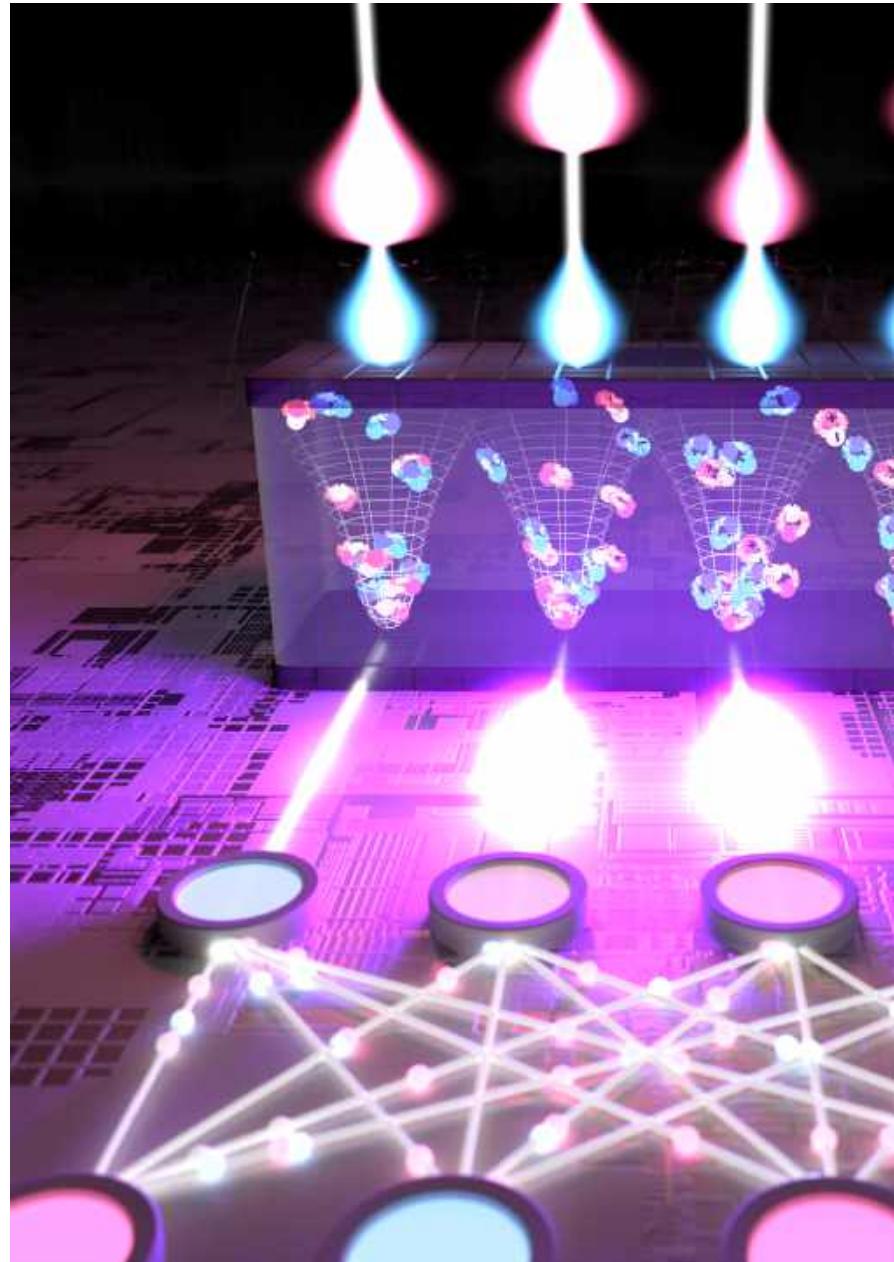
Australian  
National  
University



- Po co mam żyć?
- [...] Jako istota czująca ma pani potencjał do tego, żeby się rozwijać...

*Nowe oświecenie. Argumenty za rozumem, nauką,  
humanizmem i postępem*

Steven Pinker



- **Po co mam żyć?**
- [...] Jako istota czująca ma pani potencjał do tego, żeby się rozwijać. Może pani udoskonalić swoje władze rozumowe przez uczenie się i dyskutowanie. Może pani szukać wyjaśnień świata natury poprzez naukę i wgląd w kondycję ludzką poprzez sztukę i humanistykę. [...] Może pani docenić piękno i bogactwo świata natury i kultury. [...] Może pani zwiększać dobrostan innych istot żywych, działając na rzecz życia, zdrowia, wiedzy, wolności, dostaiku, bezpieczeństwa, piękna i pokoju.

*Nowe oświecenie. Argumenty za rozumem, nauką,  
humanizmem i postępem*  
Steven Pinker