

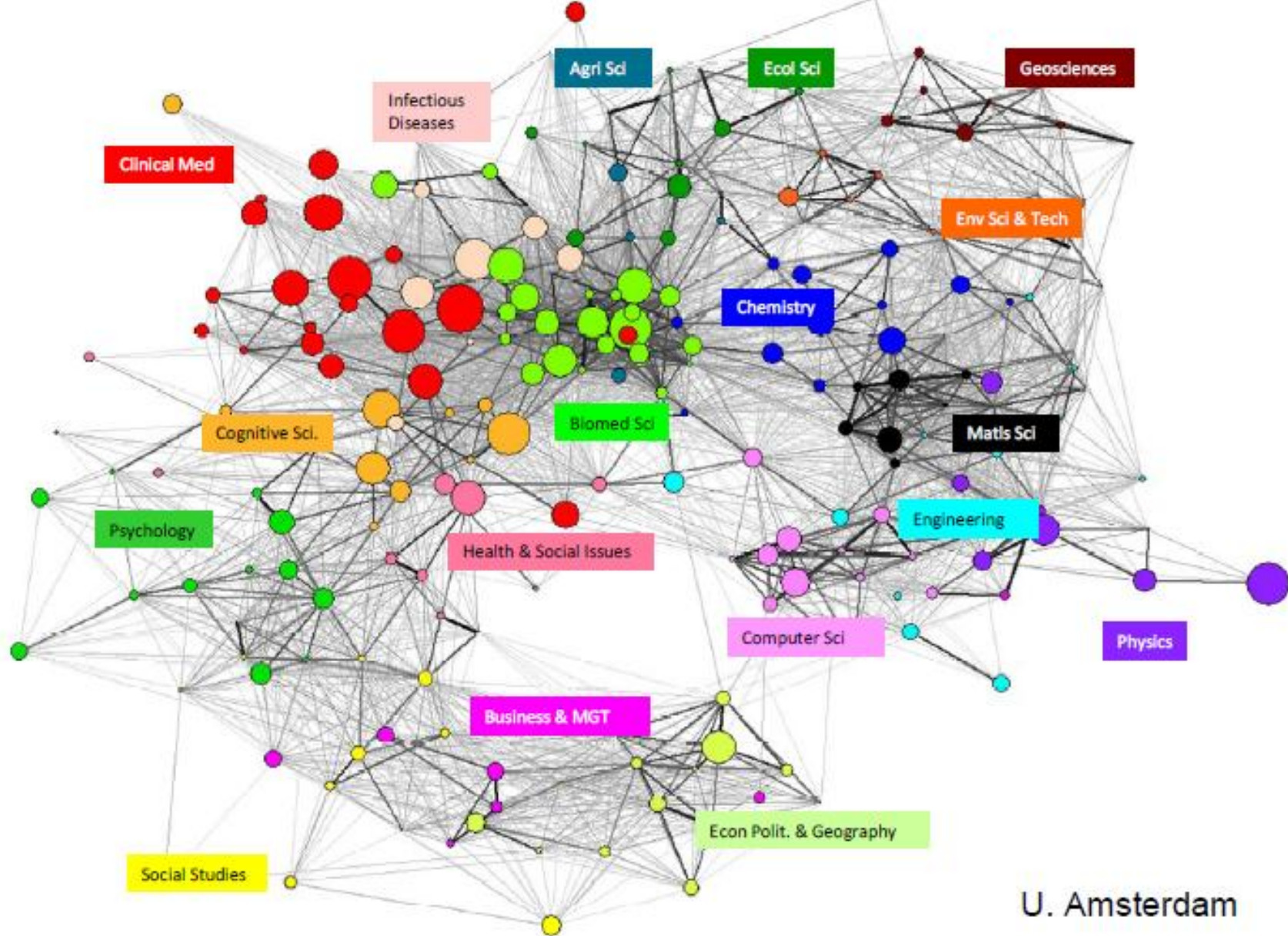
Emergentność w prawach Przyrody i hierarchiczna struktura nauki



Jozef Spalek

(UJ, AGH)





Publications profiles of the University of Amsterdam
I.Rafols, A.L.Porter, L. Leydesdorff arXiv:0912.3882 [cs.DL]



Ilustracja inżynierii sieci neuronowej kory mózgowej. W ciemniejszej części: błysk elektryczny wzbudzonego neuronu (wg „Science”, 2005)

Plan

0. Ograniczenie w poznaniu: prawo zerowe poznania od strony informatycznej struktury mózgu

1. Koncepcja emergentności i hierarchiczności nauki (P. W. Anderson)

2. Jak realizuje się emergentność? (JS)

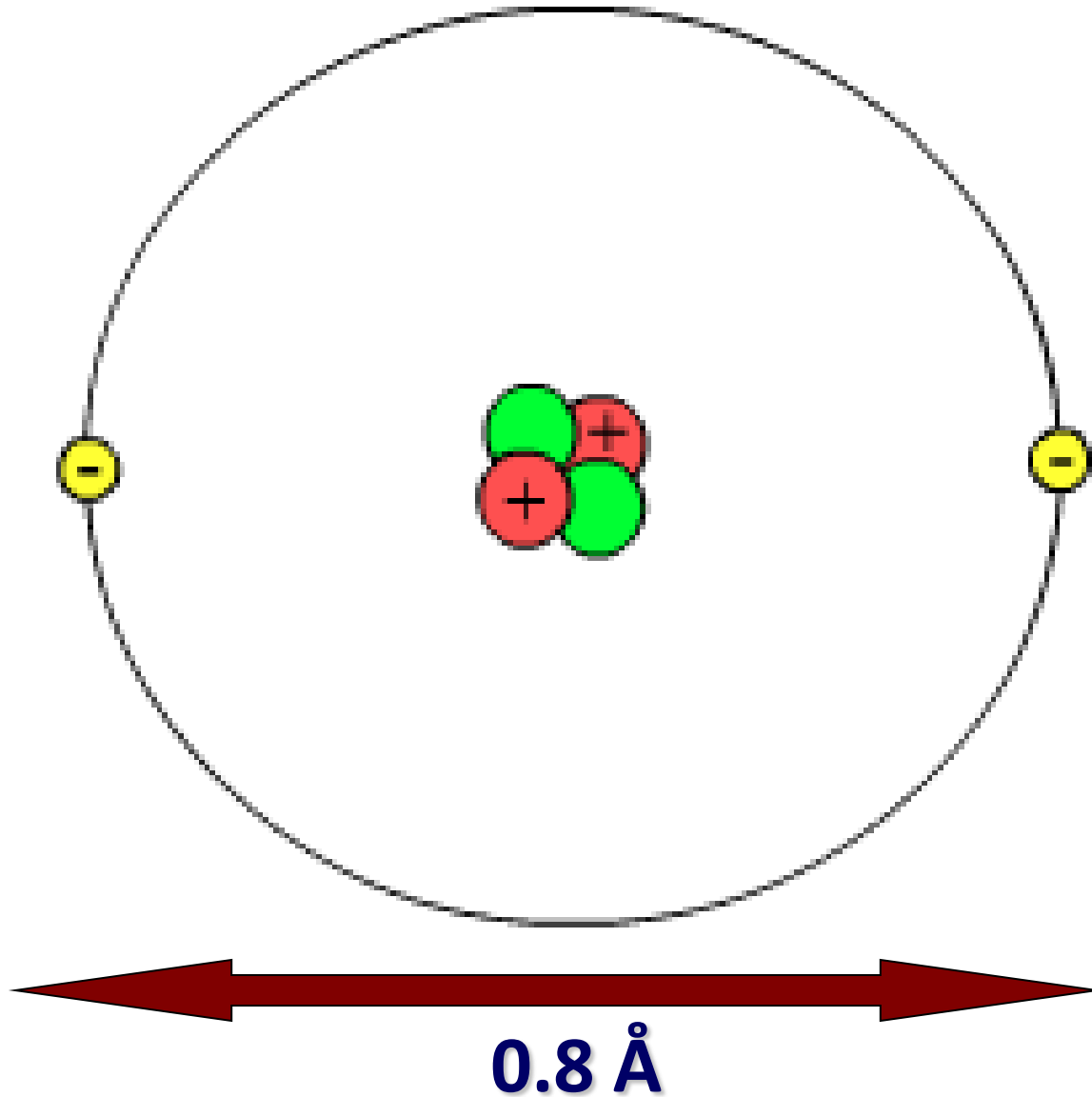
- ➔ koncepcje jakościowe *versus* ilościowe
- ➔ nowe stany (np. *spontaniczne* złamanie symetrii) przez konkurencję oddziaływań
- ➔ rola nieskończ. fluktuacji prowadzących do niestabilności "starych" stanów

3. Podsumowanie

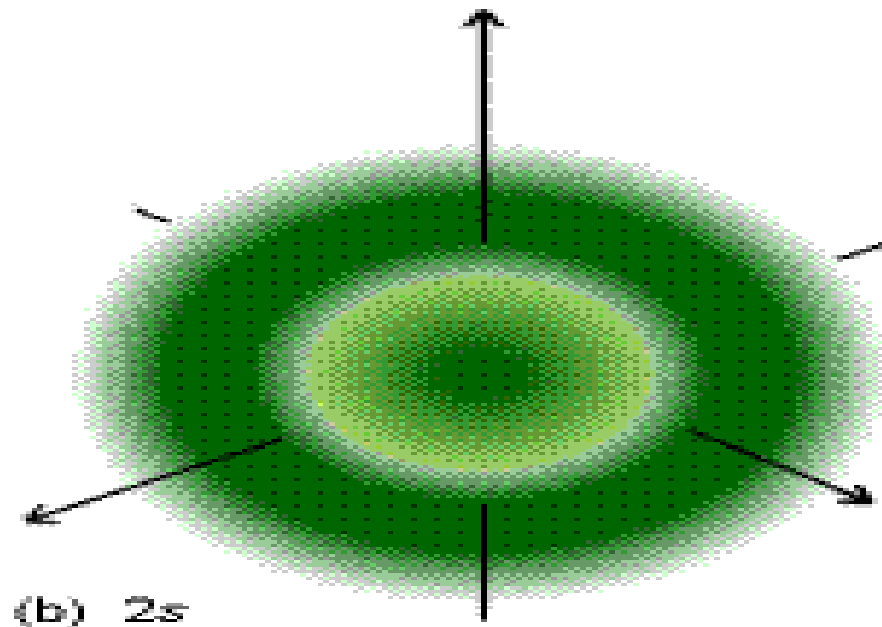
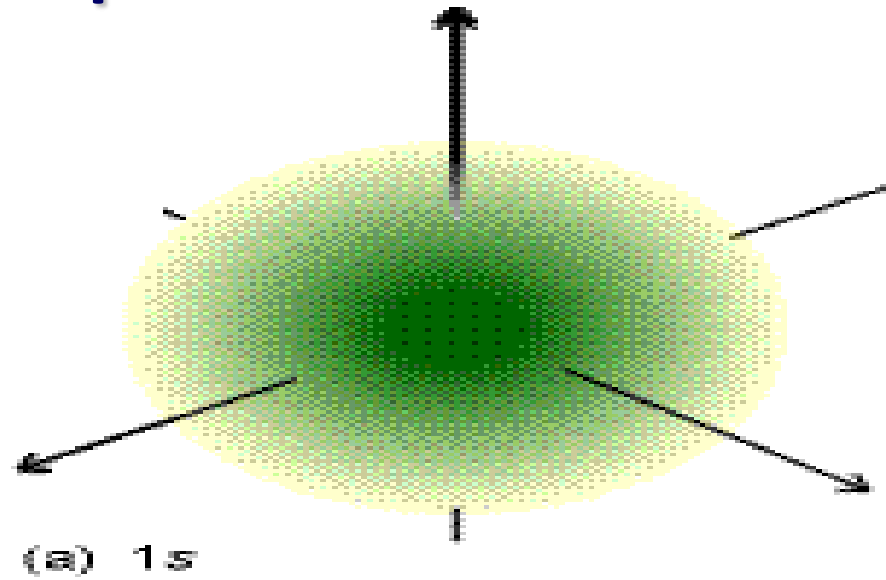
Przykład 1: od struktury materii do funkcjonalności:

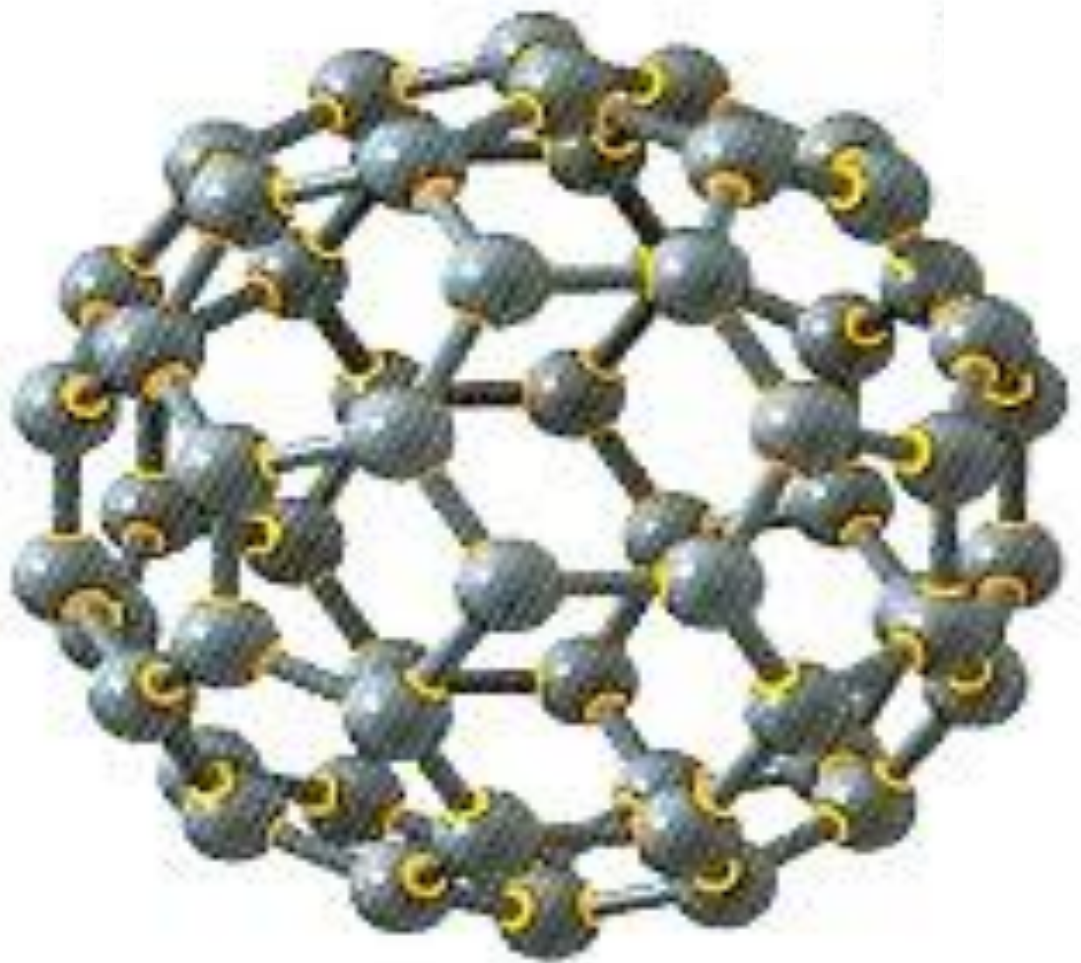
- **Od atomu do biologii**

Atom: He (and H), unit in micro scale of our Nature



He: quantum wave





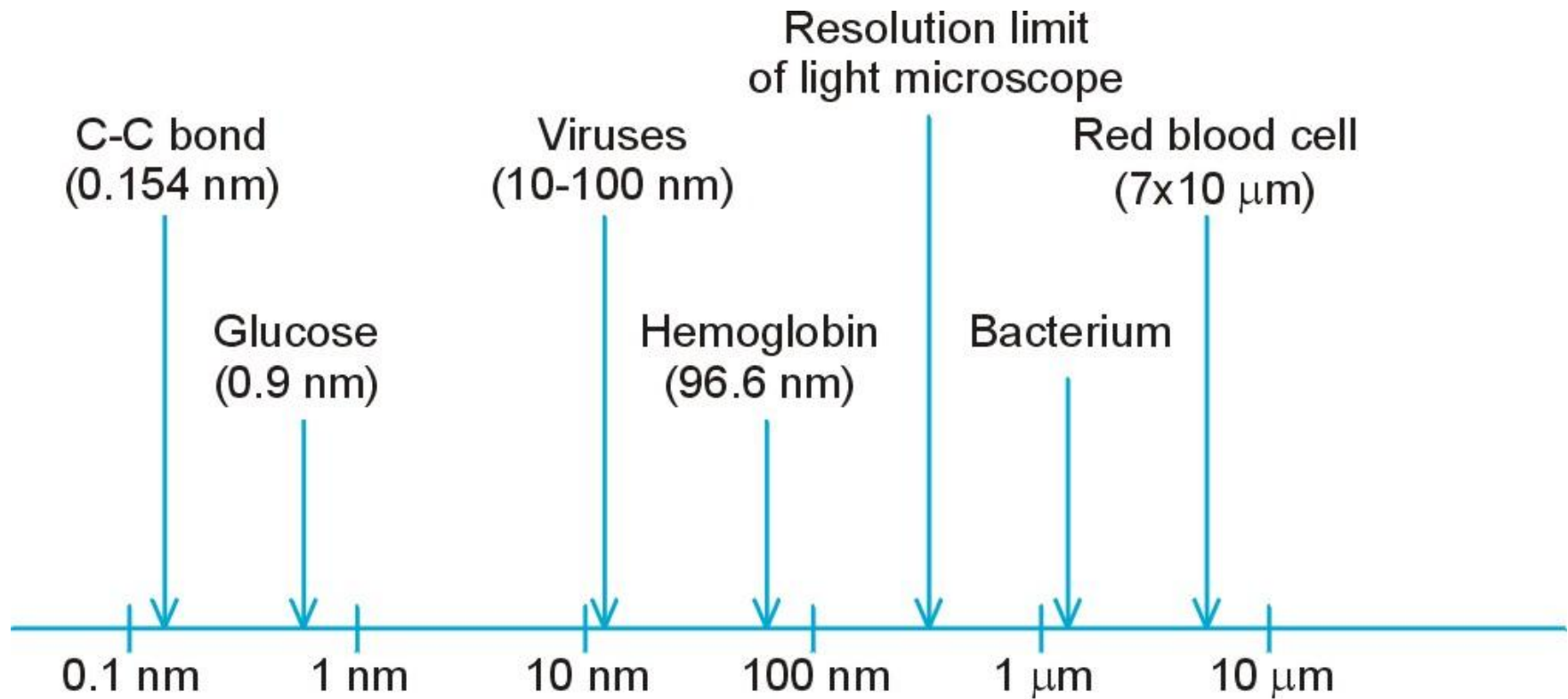
fullerene C₆₀



1 nm

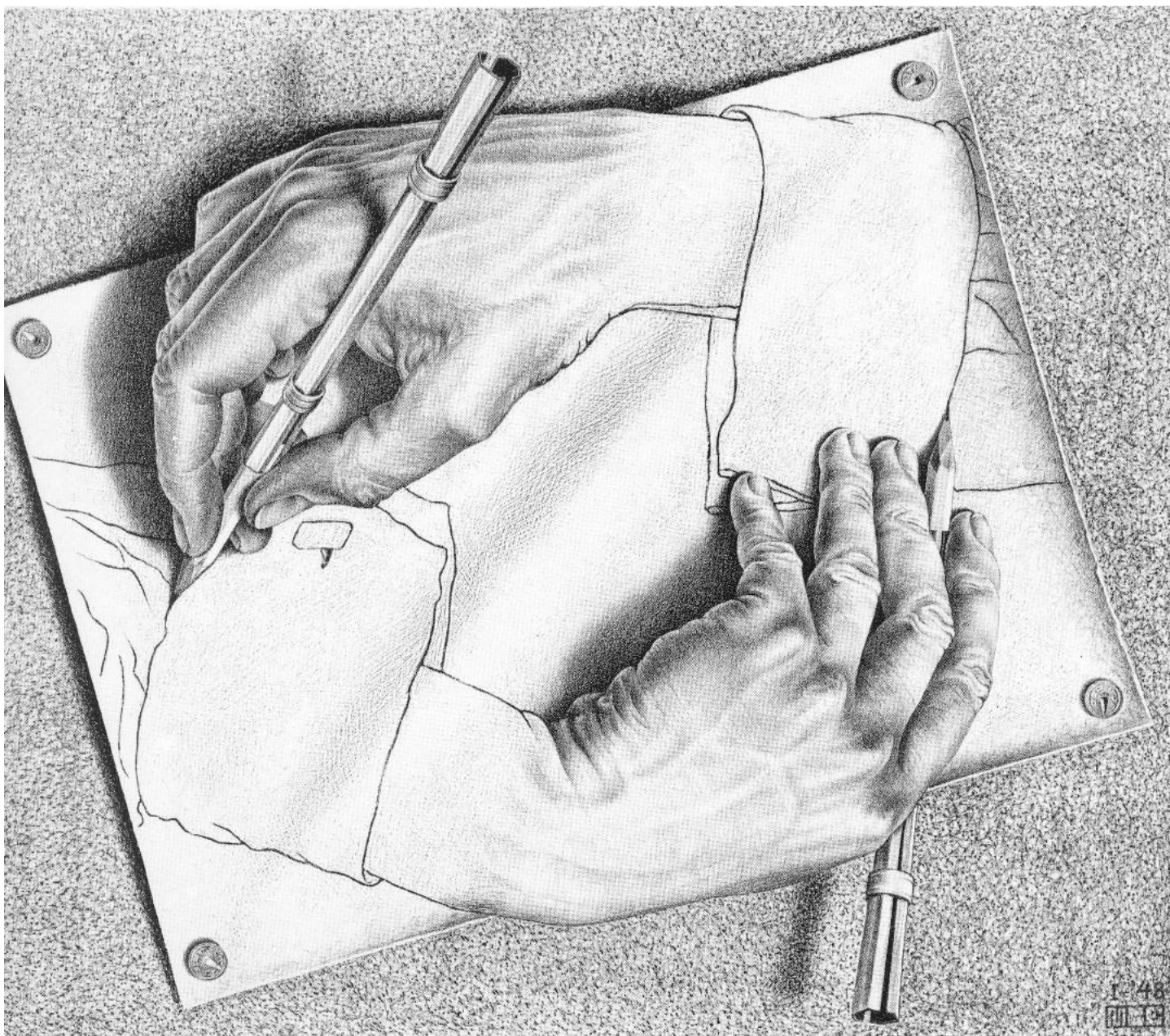
Unit in nanoscale

The comparison of the virus size with those of other chemical and biological systems



Fundamentalny postulat poznania (świata zewnętrznego): mózg (=ja) jako ostateczny obserwator i najw. układ **emergentny**

- **Mózg:** 10-15 miliardów elementów (neuronów) wymieniających informację i oddziałujących nieliniowo + connectivity (10-10 000 połączeń między sąsiednimi neuronami)
- Zasadnicza kwestia: jak to wszystko ogarnąć: **tylko kora jest tym nadrzędnym obiektem posiadającym samoświadomość**
- Prawo zerowego rzędu – **samoograniczenie *a priori***: układ modeluje sam siebie, a więc opis ograniczony
- Prawo pierwszego rzędu – informatycznego podejścia do opisu otoczenia: nigdy nie zbudujemy pełnego opisu ilościowego bo nie zbudujemy dostatecznie bogatego języka, tj. nie stworzymy opisu z większej liczby elementów, niż ta, z której sami się składamy



Fundamentalne składniki opisu świata

- **Cząstki i podstawowe układy materialne:**
elektrony, protony, atomy, molekuły (cząsteczki), w tym biologiczne (DNA, aminokwasy)
- **Chaos termiczny** (wszechogarniający!) $\sim k_B T$
- **Oddziaływania** (i ich konkurencja)
- **Wymiana informacji** pomiędzy podukładami (obiektami..); por. "spooky action at a distance";
Uwaga: nauka o rzeczywistości a **informacja jako taka (to to samo QM?)**

emergentny

wynurzający się; rodzący ciągle nowe, nie dające się uprzednio przewidzieć właściwości

Słownik wyrazów obcych:

emergencja w rozwoju, ewolucji: taki proces, w którego wyniku nowe jakości powstają ciągle, ale skokowo. Twórców emergentnej teorii ewolucji zastanawiało to, dlaczego wśród wykopalisk z minionych epok znajdujemy tak niewiele form pośrednich, "przejściowych ogniw", czemu nowe formy pojawiają się zwykle w sposób nagły i są czymś zasadniczo różnym, choć wyraźnie spokrewnionym ze swoimi przodkami.

Ewolucja emergentna - nagłe powstawanie nowych, bardziej rozwiniętych form biologicznych.

Nam tutaj chodzi o emergentność w procesie poznawania praw Przyrody.

Por. Emergentność Przyrody a zmiana paradygmatu (Kuhn, Fleck?)

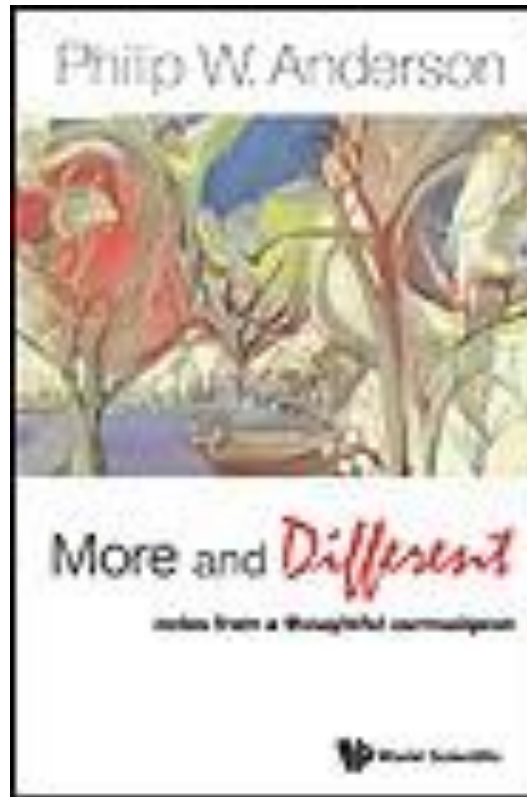
Emergent character of Nature



Philip W. Anderson:

More is different: Broken symmetry and the nature of the hierarchical structure of science

Philip W. Anderson



Motto emergentności:

- The ability to reduce everything to simple fundamental laws does not imply the ability to start from those laws and reconstruct the universe... The constructionist hypothesis breaks down when confronted with the twin difficulties of scale and complexity. At each level of complexity entirely new properties appear. Psychology is not applied biology, nor is biology applied chemistry. We can now see that the whole becomes not merely more, but very different from the sum of its parts. (P. W. Anderson, Science 177, 393-396, 1972)
- Możliwość redukcji wszystkiego do prostych praw fundamentalnych bynajmniej nie oznacza, że możemy wystartować z tych praw i zrekonstruować Wszechświat w jego złożoności. Hipoteza konstrukcjonizmu załamuje się, gdy jest skonfrontowana z bliźniaczymi trudnościami zmiany skali opisywanych układów (rozmiaru), a także ich złożoności. Na każdym stopniu złożoności całkowicie nowe własności pojawiają się: psychologia to nie stosowana biologia, biologia to nie stosowana chemia, chemia to nie stosowana fizyka, itd.
W ten sposób widzimy, że całość staje się nie tylko czymś więcej, ale przede wszystkim zasadniczo różnym od sumy jego części.

Hipoteza robocza:

Przez wprowadzenie czynników jakościowych i nowych, poza naszym opisem obecnym ilościowym (matematycznym, pomiarem) wprowadzamy **emergentność**. W naukach ścisłych emergentność to coś dodatkowego, poza samym opisem (założenia?). Emergentne mogą być także cechy, własności czy wynik opisu.

Danger: coś emergentne, jak nie umiemy zinterpretować!

ASPEKTY OPISU

JAKOŚCIOWE:

SYMETRIA UKŁADU/PROBLEMU/
MODELU/STANU

ZŁAMANIE SYMETRII

UNIWERSALNOŚĆ
(NP. PRZEJŚĆ FAZOWYCH))

DUALIZM FALOWO-KORPUSKULARNY
(ZASADA SUPERPOZYCJI)

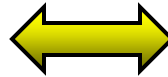
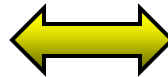
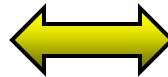
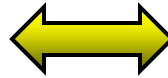
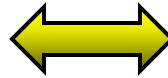
ILOŚCIOWE:

GRUPY SYMETRII,
REPREZENTACJA GRUP

PARAMETR PORZĄDKU, PRZEJŚCIE
FAZOWE I ZJAWSKA KRYTYCZNE

TEORIA SKALOWANIA, NIEZALEŻNOŚĆ
PRAW OD MIEJSCA WE WSZECHŚW.

RÓWNANIE DYNAMICZNE
(R. FALOWE), TEORIA ROZPROSZEŃ



HIERARCHICZNA STRUKTURA PRZYRODY

POZIOM NIŻSZY

FIZYKA CZĄSTEK
ELEMENTARNYCH

FIZYKA WIELU CZĄSTEK
(KRYSZTAŁY, CZIECZE KWANTOWE)

(BIO)CHEMIA

BIOLOGIA MOLEKULARNA
(DNA, BIAŁKA)

BIOLOGIA KOMÓRKI

.....

FIZJOLOGIA

PSYCHOLOGIA

POZIOM WYŻSZY

FIZYKA WIELU CZĄSTEK

(BIO)CHEMIA

BIOLOGIA MOLEKULARNA

BIOLOGIA KOMÓRKI

ORGANIZM-MÓZG

.....

PSYCHOLOGIA

NAUKI SPOŁECZNE



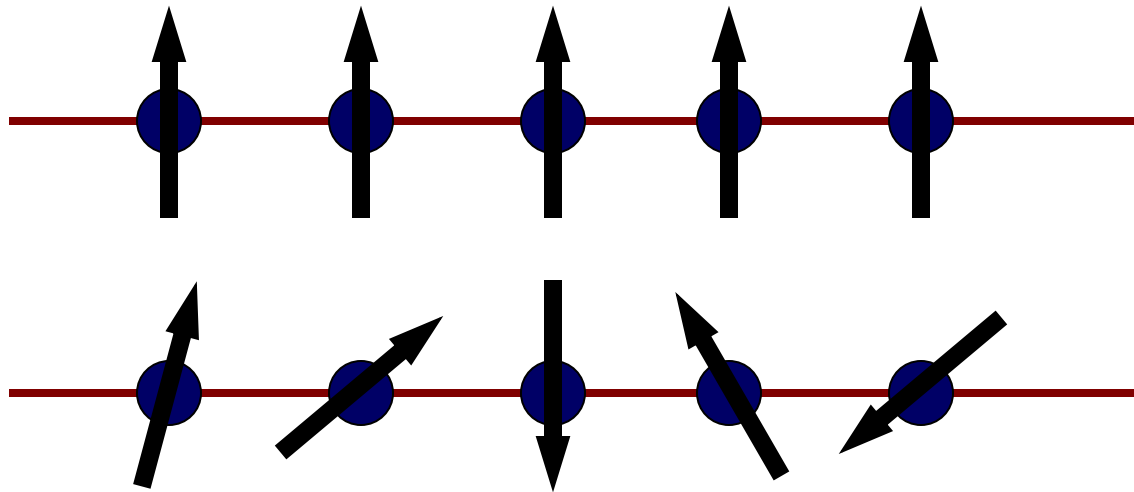
Przykład 2: przejścia fazowe

- Punkt krytyczny wskutek konkurencji oddziaływań z szumem termicznym
- Parametr porządku jako wyraz złamania symetrii (spontaniczne złamanie symetrii jako **własność emergentna**)

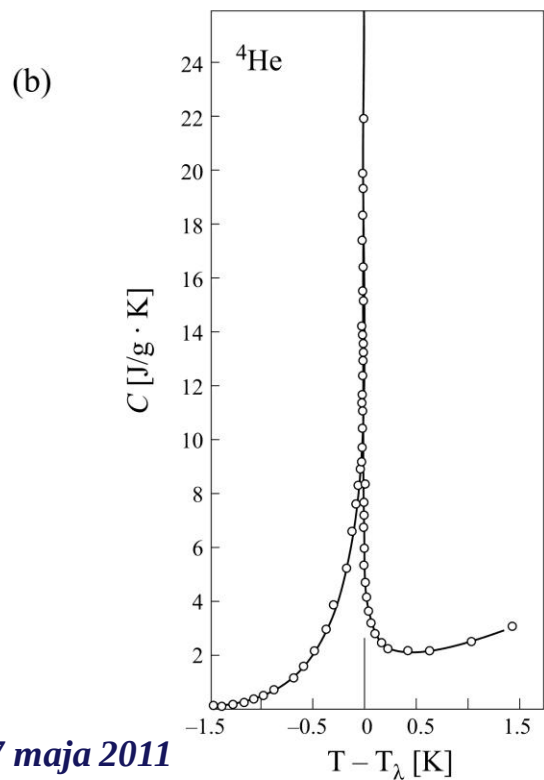
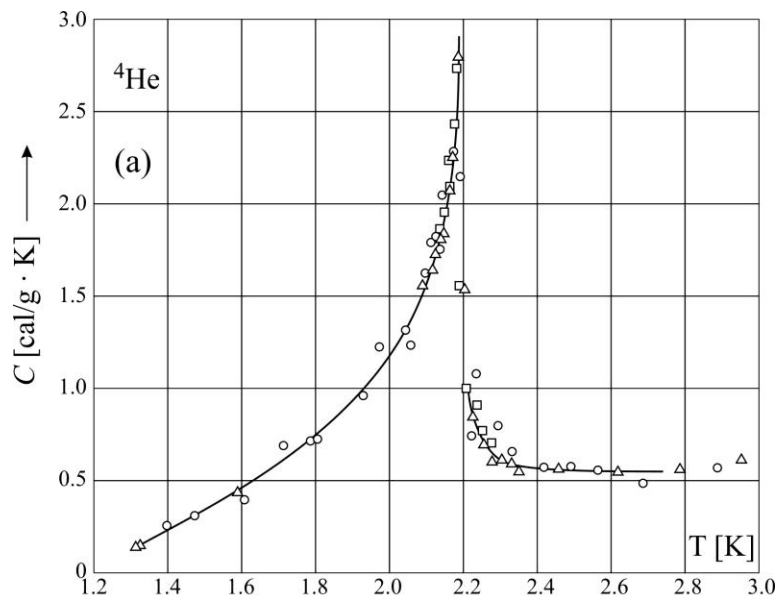
- **Origin of classical PT: competition between the mechanical and the thermal energies**

$$F = U - TS_{\text{en}}$$

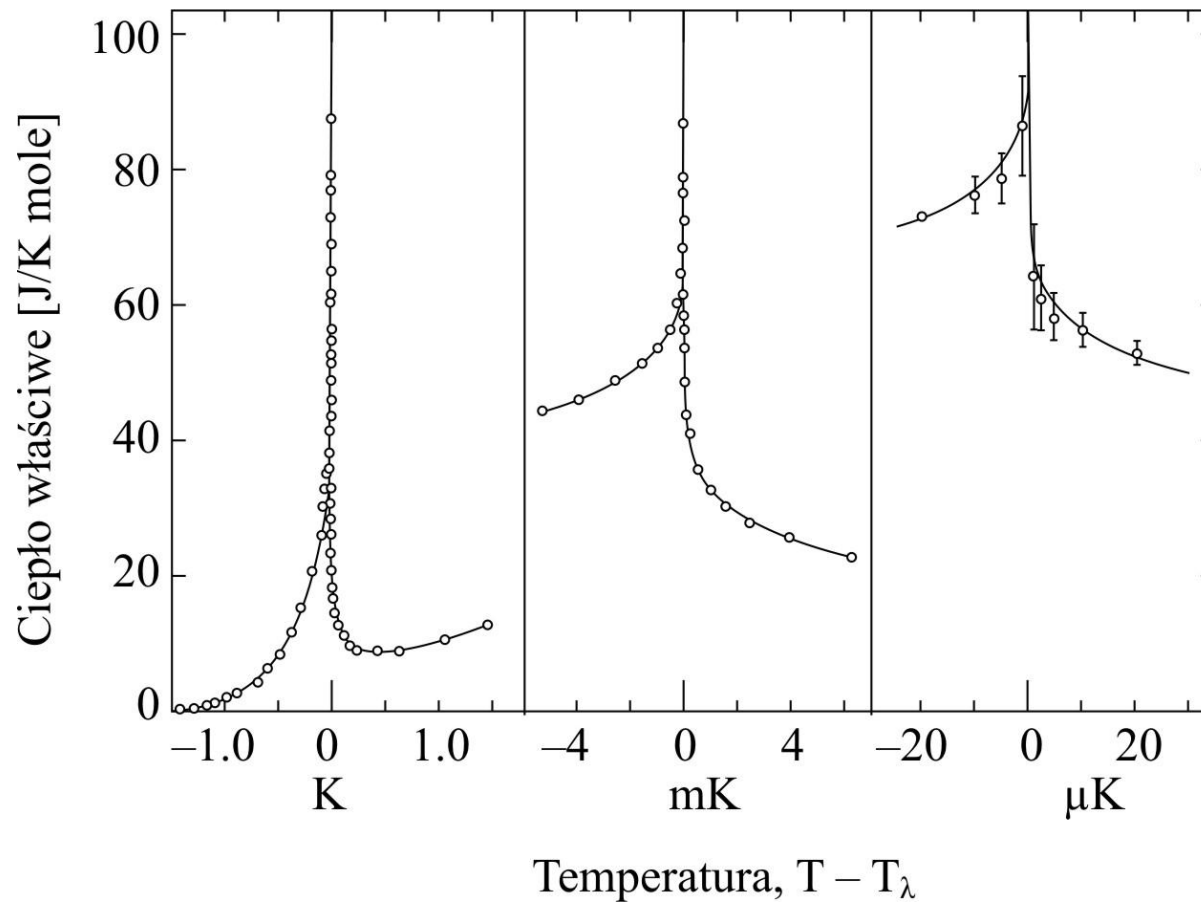
$$U = - \sum_{\langle ij \rangle} J_{ij} \langle S_i \cdot S_j \rangle \sim - Jz S^2 N \quad \text{dla } T=0 \quad (S_{\text{en}}=0)$$



$$T \geq T_c: \quad S_{\text{en}} = k_B N \ln(2S+1)$$



**Zgrubna zależność
temperaturowa ciepła
właściwego dla
skondensowanego helu-4
w pobliżu punktu
krytycznego "lambda" 2.17K
przejścia fazowego do stanu
nadciekłego (bez tarcia)**



Osobliwość ciepła właściwego dla skondensowanego (ciekłego) helu 4 w punkcie krytycznym lambda przy przejściu do stanu nadciekłego w temperaturze 2.17K. Osobliwość w przybliżeniu logarytmiczna, niewyjaśniona ściśle do dzisiaj (wyniki z lat '80tych).

Osobliwości przy przejściu fazowym (niestabilności prowadzącej do nowego stanu)

- Phases are defined by the border lines separating them; discontinuities or intrinsic singularities of physical quantities: specific heat, magnetic susceptibility, compressibility , etc., as $T \rightarrow T_c > 0$

$$C_p \sim \left| \frac{T - T_c}{T_c} \right|^{-\alpha} \sim \ln |T - T_c| \quad \text{dla} \quad \alpha \rightarrow 0 \quad \chi = \left| \frac{T - T_c}{T_c} \right|^{-\gamma}$$

- Order parameter appearance for example: spin polarisation $\Rightarrow$ spontaneous symmetry breakdown for $T \leq T_c$

$$\eta(r) = \left| \frac{N_{\uparrow} - N_{\downarrow}}{N_{\uparrow} + N_{\downarrow}} \right| \sim (T_c - T)^{\beta}$$

- Examples: $\alpha = 0.1$, $\beta \approx 1/3$, $\gamma \approx 4/3$

Co prowadzi do pojawienia się emergentności w Przyrodzie: przejścia fazowe

- **Konkurencja** (konflikt) pomiędzy oddziaływaniami mechanicznymi a termicznymi prowadzi do osobliwości matematycznych konkretnych wielkości fizycznych;
- Powstające fazy w wyniku tej konkurencji stanowią **osobne wszechświaty** (nie dają się opisać przy pomocy jednego stanu, jednego potencjału termodynamicznego)
- Przejścia fazowe mogą mieć miejsce na podstawie wzrostu nieskończonego amplitudy fluktuacji wielkości fizycznych (zamrażania i odmrężania stopni swobody przy przejściu) – **spontaniczne złamanie symetrii w punkcie niestabilności "starej" fazy !!!**

Uwaga do przejść fazowych:

Czy jednak istnieje czynnik uniwersalności opisu dla $T > T_c$ i $T < T_c$? Tak: funkcjonal G-L który stosuje się dla obu obszarów, ale jest uogólnieniem opisu termodynamicznego – jednocześnie M i H_a dla ferromagnetyka

Spontaniczne złamanie symetrii

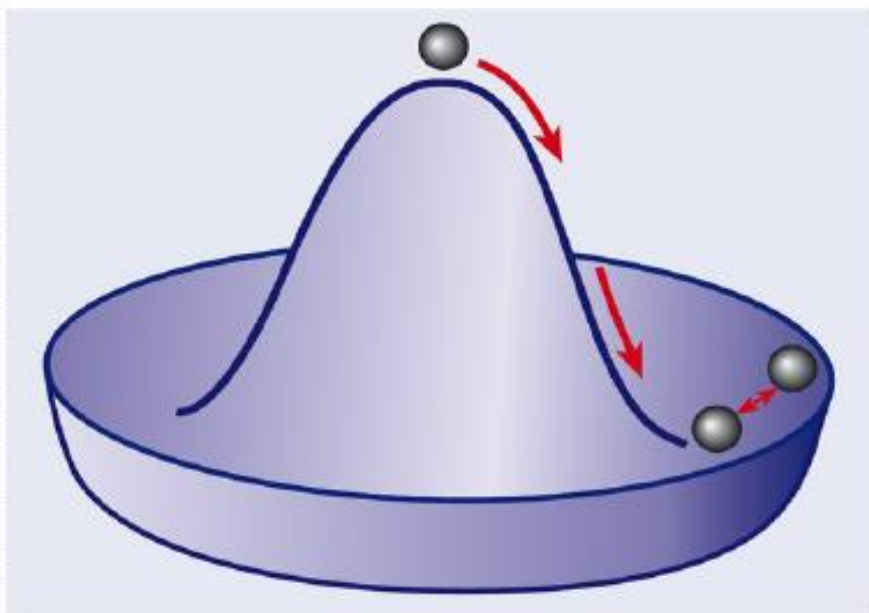
- **faza (grupa społeczna)** – jednorodny obszar (stan) oddzielony od innych liniami (granicami) osobliwości
- **przejście fazowe** – punkt niestabilności fazy: albo przesuwanie się tych granic (I r.) albo powstanie nowej fazy poprzez nieskończone fluktuacje – niestabilności połączone z nieciągłą zmianą symetrii (spontaniczne złamanie symetrii, II r.) – **punkty krytyczne**
- energia układu ewoluuje w sposób ciągły, ale w punkcie krytycznym pojawiają się nowe charakterystyki jakościowe; **pojawia się emergentność! -> nowy parametr porządku dający wyraz zmianie symetrii w punkcie T_c**

Czy możemy przewidzieć nowe zjawiska
i nowe własności materiałów?

JAK SYMETRIA MOŻE BYĆ ZŁAMANA?

Nambu, 2008

- „RĘCZNIE”, ALBO ...
- SPONTANICZNIE



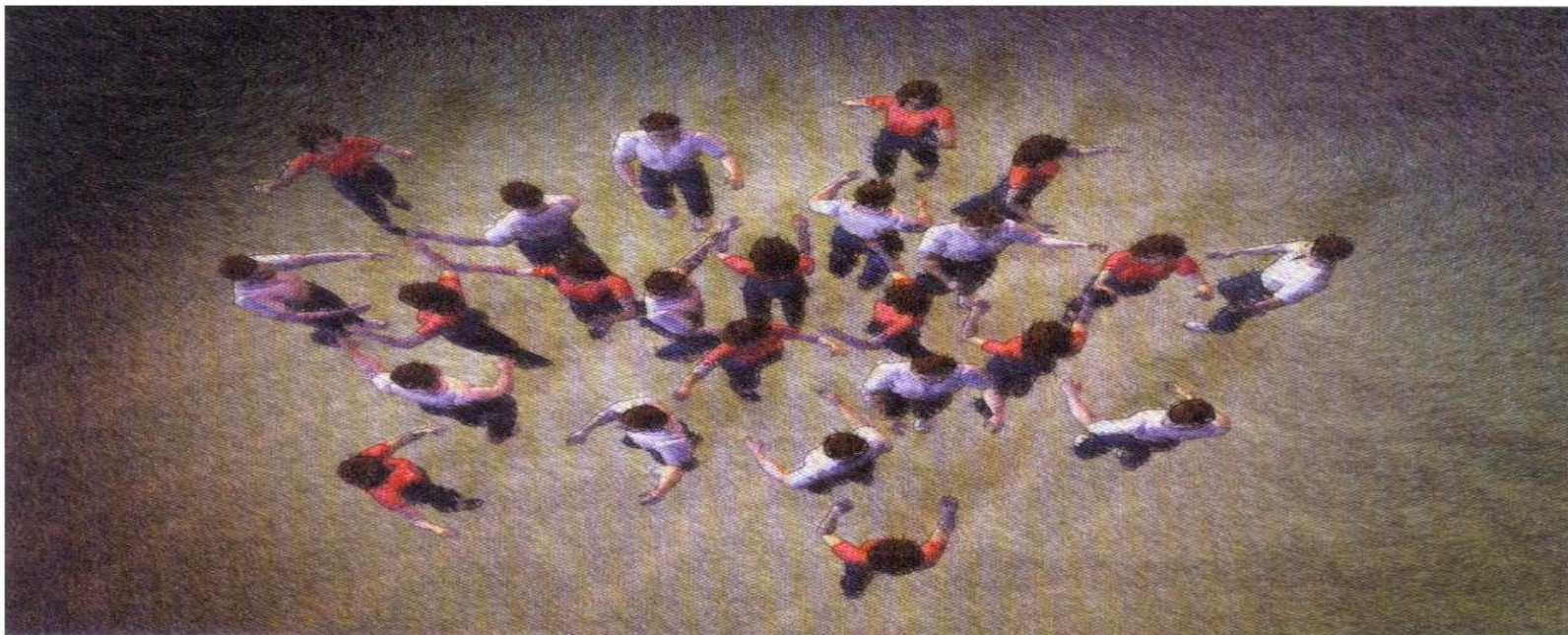
Dlaczego układ wybiera jeden stan makro?

- Stan powyżej przejścia symetryczny: nieskończona liczba konfiguracji **makro**: spiny zorientowane dowolnie ($N \rightarrow$ niesk.)
- Układ wybiera tylko jeden z nich ("stan ze złamaną symetrią")
- **WAŻNE**: Przejście od jednej konfiguracji ze złamaną symetrią do drugiej wymaga przeorientowania nieskończ. liczby spinów – wymaga niesk. czasu i... $\rightarrow$ zmiana makrostanu
- **Summa**: wybór jednego stanu to cecha emergentna układu wielocząstkowego (wieloelementowego)

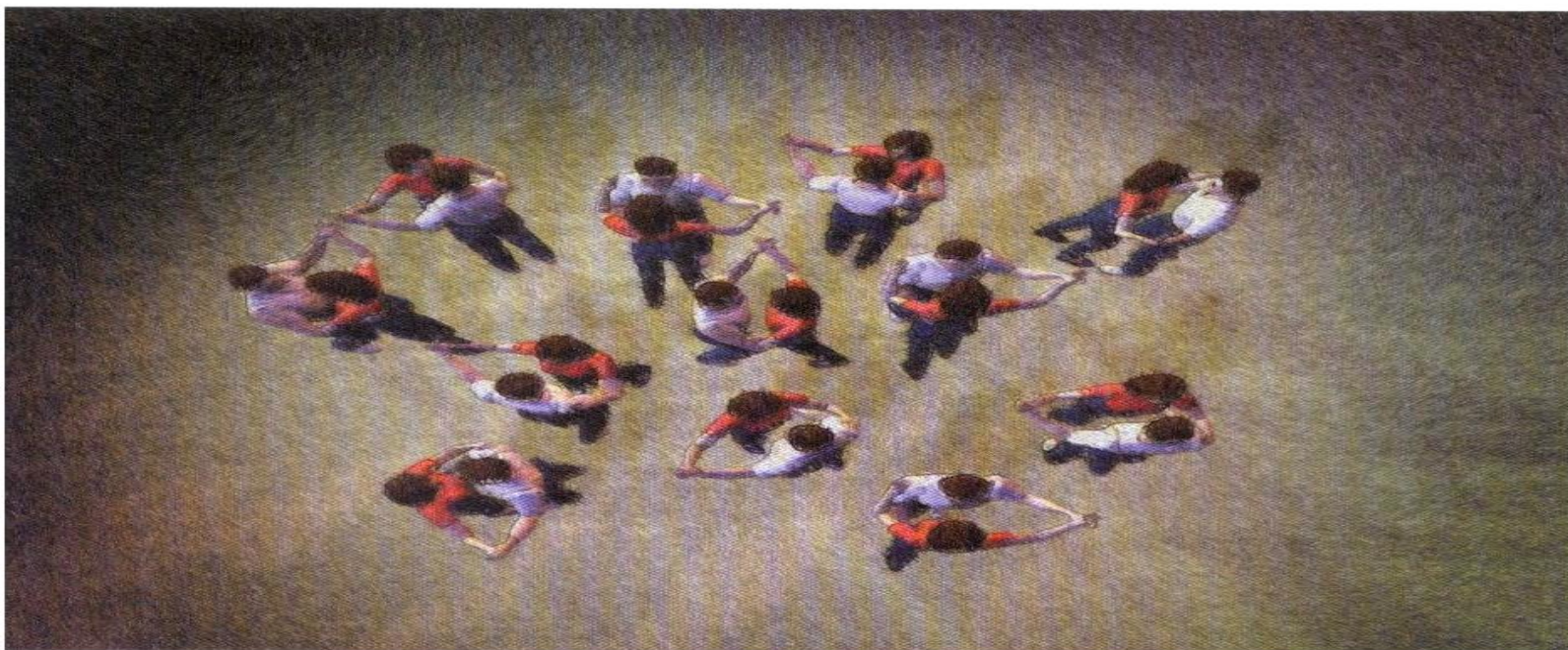
Przykład 3: Stany skondensowane (w układach kwantowych)

- **Nadprzewodnictwo** (idealna ciecz, bez oporu elektrycznego) – łączenie się w pary pod wpływem oddziaływ. przyciągającego
- **Kondensacja Bosego – Einsteina** – bez oddziaływania stan splątany: przekaz informacji tylko o wspólnym stanie kwantowym. Informacja prowadząca do stanu kwantowego jest tutaj emergentnością!

(a)

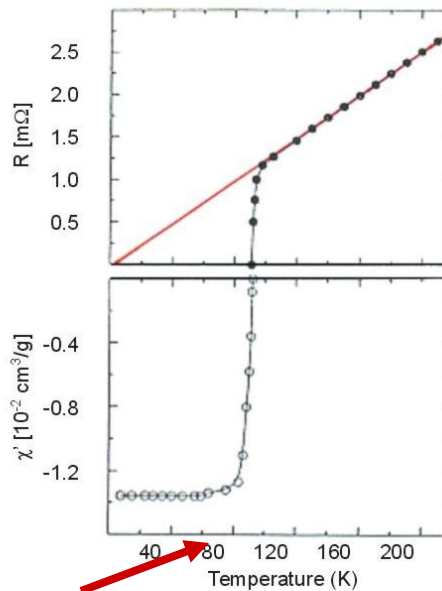
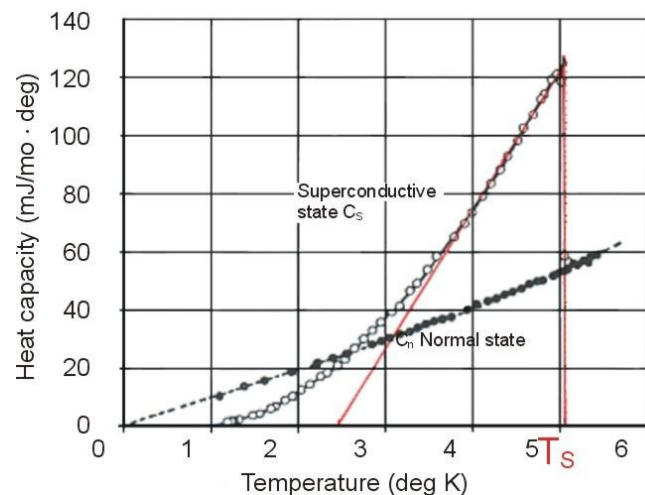


(b)



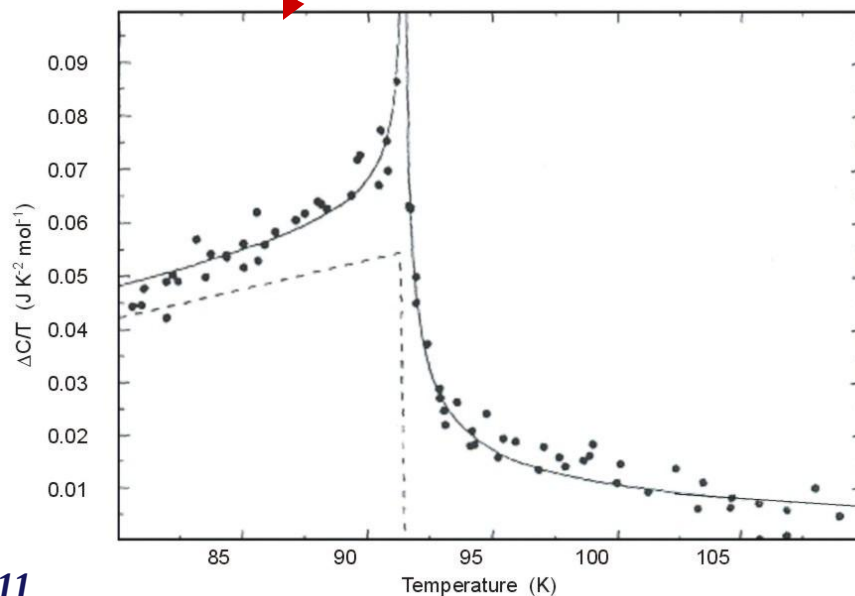
KLASYKA STANU NADPRZEWODZĄCEGO:

V:



A. Kołodziejczyk et al., (1991).

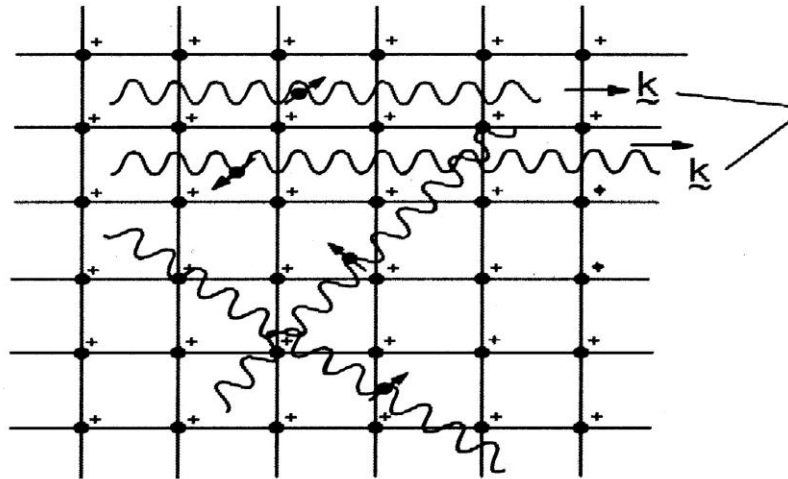
DyCaCu₃O_{7-δ}



**Stan kwantowy makro,
przemiana klasyczna!**

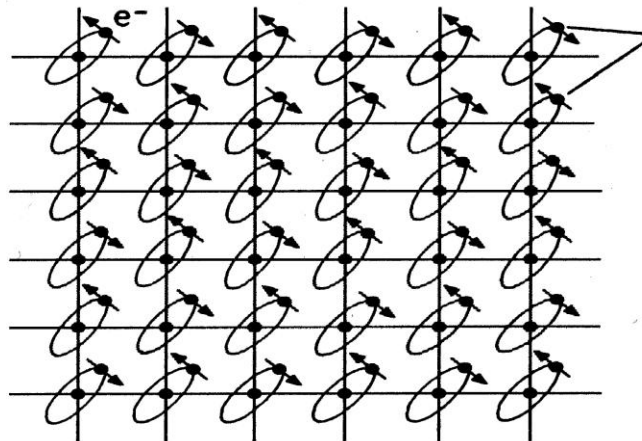
Przykład 4: Delocalized versus localized states:

a) Metal



Plane waves
(Bloch states)

b) Mott-Hubbard insulator



Atomic states

Podsumowanie

- **Emergentność jako pojawienie się nowych cech** jakościowych (złożoności) w układach wieloelementowych (wielocząstk.), które nie dają się wyprowadzić z cech dziedziny wiedzy o układach prostszych ("bardziej fundamentalnej");
- Nowe cechy Przyrody (nowe prawa) układów złożonych powstają wskutek **konkurencyjności** oddziaływań, konfliktu interesów, fluktuacji, itd., połączonych z nieliniowością ich funkcjonowania lub wymianą informacji (**nowe stabilne fazy wskutek niestabilności stanów poprzednich!**);
- **Nie wystarczy powiedzieć, że coś jest emergentne, trzeba to uzasadnić, także ilościowo (question how versus how come?)**
- Pytanie extra: Czy fizyka jest dalej modelową nauką Przyrody? Tak, ale nie taka, jaka jest dominująca obecnie 😊

Motywacje dla tematu

- Co fizyka może dać filozofii (na przykładzie), a nie na odwrót (to b. znane)
- Co zawarte w koncepcji łamania symetrii (aspekt "dlaczego?"), rola warunków brzegowych w równaniach jako czynnika extra, konkurencja oddziaływań, etc.
- Czy Karol Marks ma rację: ilość przechodzi w jakość? 😊

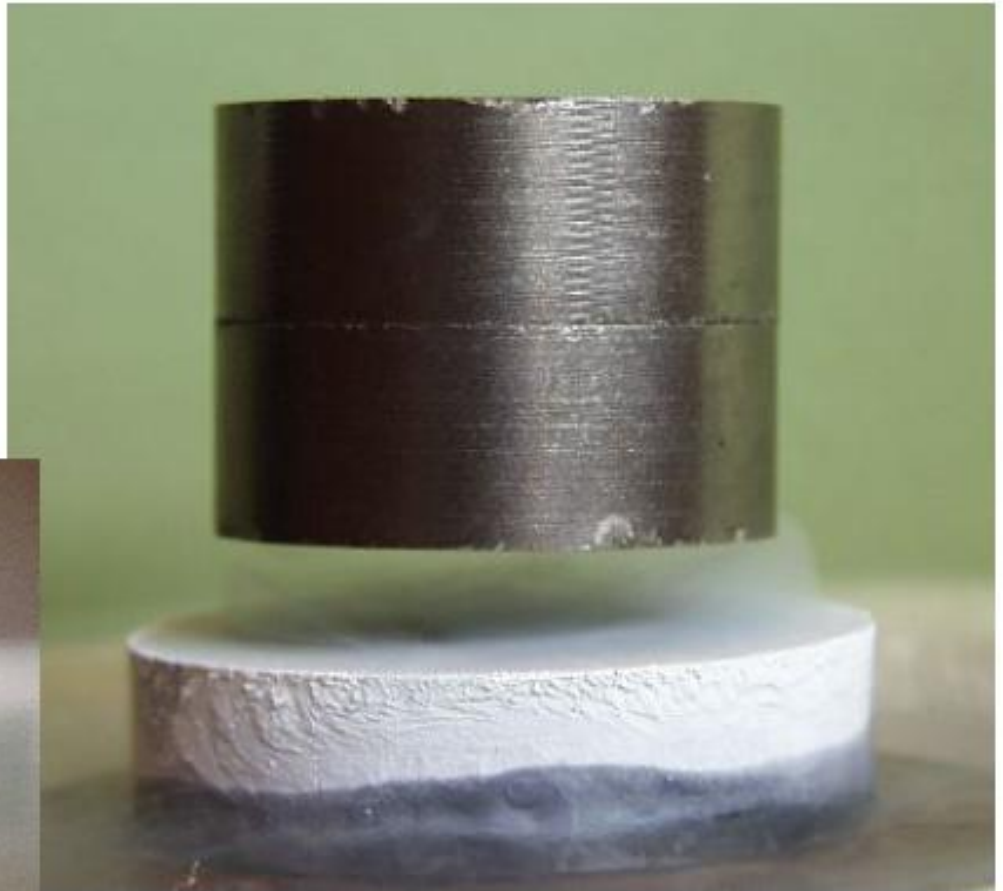
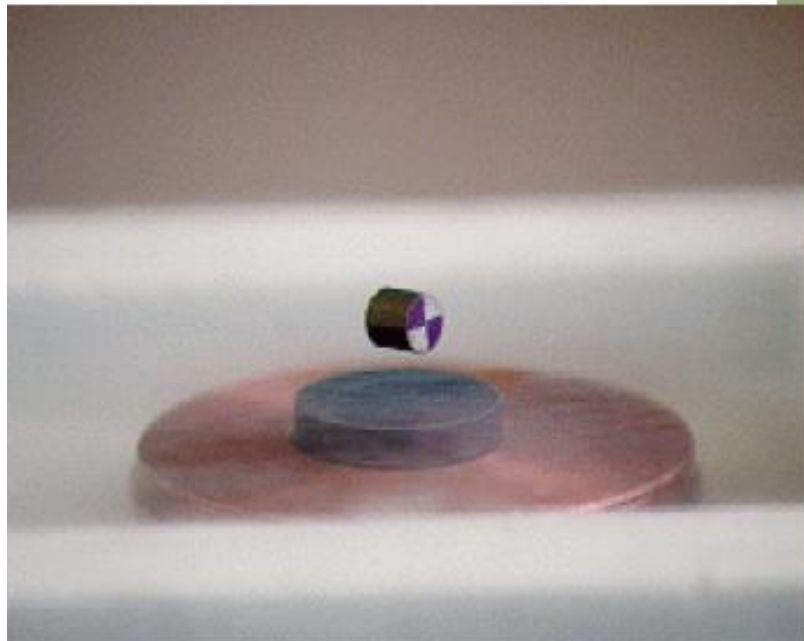
Dziękuję za uwagę 😊



AGH, 27 maja 2011

U1.00003 : Anomalous superconductivity near the Mott transition

Perfect diamagnetism
(Shielding of
magnetic field)
(Meissner effect)



André-Marie Tremblay

Świat kwantowy

*Uderzył mnie w głowę
kwant światła
niewidzialnego
i zamienił się
w strumień iluminacji
tego faktu elementarnego.*

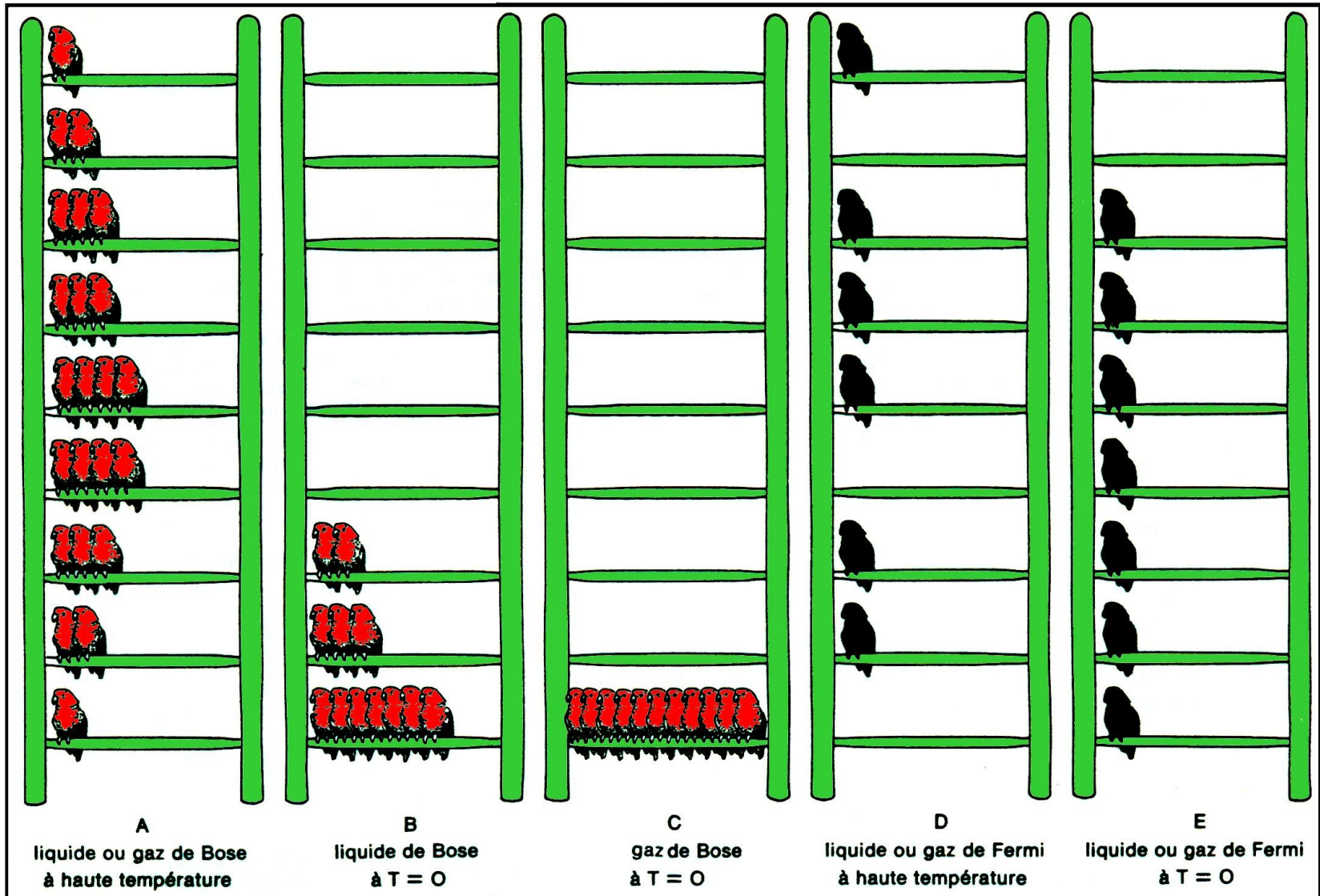
*Przeleciał elektron
wąską ścieżką,
w poprzek potencjału.
Przystanął i oświecił
całe laboratorium.*

*Oto dylemat
komplementarności.
Rozpadło się jądro atomu
na dwie nierówne połowy,
nie wiedzieć dlaczego?
Po co? I kiedy?*

*Oto dylemat indeterminizmu.
I takie mają być
prawa fundamentalne?
A w międzyczasie,
zrelaksował atom w próżni
wypluwając dwa fotony,
z których jeden się zrealizował,
gdy zniknął drugi
w śmiertelnym pomiarze.*

*Przy okazji
zdechł kot Erwin,
którego miało tam nie być.
Ale w śmiertelnej agonii
zobaczył świat kwantowy,
który, oczywista,
istnieje tylko w naszej wyobraźni.
Czy wiesz, że w nim mieszkasz?*

Kondensacija Bosego-Einsteina



S. Balibar, La Recherche

FERMIONY

$$\Psi_{p_1, \dots, p_N}(r_1 \sigma_1, \dots, r_N \sigma_N) = \frac{1}{\sqrt{N!}} \begin{vmatrix} \Psi_{p_1}(r_1 \sigma_1) & \dots & \Psi_{p_N}(r_1 \sigma_1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \Psi_{p_1}(r_N \sigma_N) & \dots & \Psi_{p_N}(r_N \sigma_N) \end{vmatrix}$$



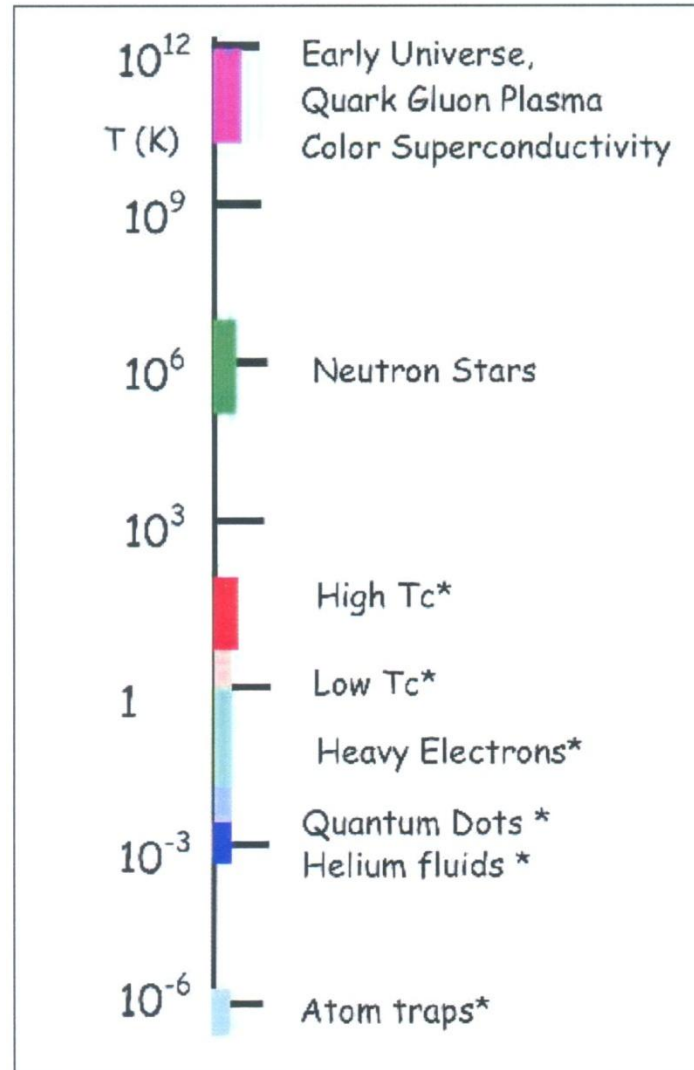
CIECZ FERMIEGO: TEORIA LANDAUA

$$T \ll T_F = \varepsilon_F / k_B$$

$$\delta n_{\mathbf{k}\sigma} \equiv n_{\mathbf{k}\sigma} - n_{\mathbf{k}\sigma}^0 \ll 1$$



$$\delta E = \sum_{\mathbf{k}\sigma} (\varepsilon_{\mathbf{k}} - \mu) \delta n_{\mathbf{k}\sigma} + \frac{1}{2} \sum_{\mathbf{k}\mathbf{k}'\sigma\sigma'} f_{\mathbf{k}\mathbf{k}'}^{\sigma\sigma'} \delta n_{\mathbf{k}\sigma} \delta n_{\mathbf{k}'\sigma'} + \dots$$



P. Coleman, sces'05 - Physica B378-380, 1160(2006)->

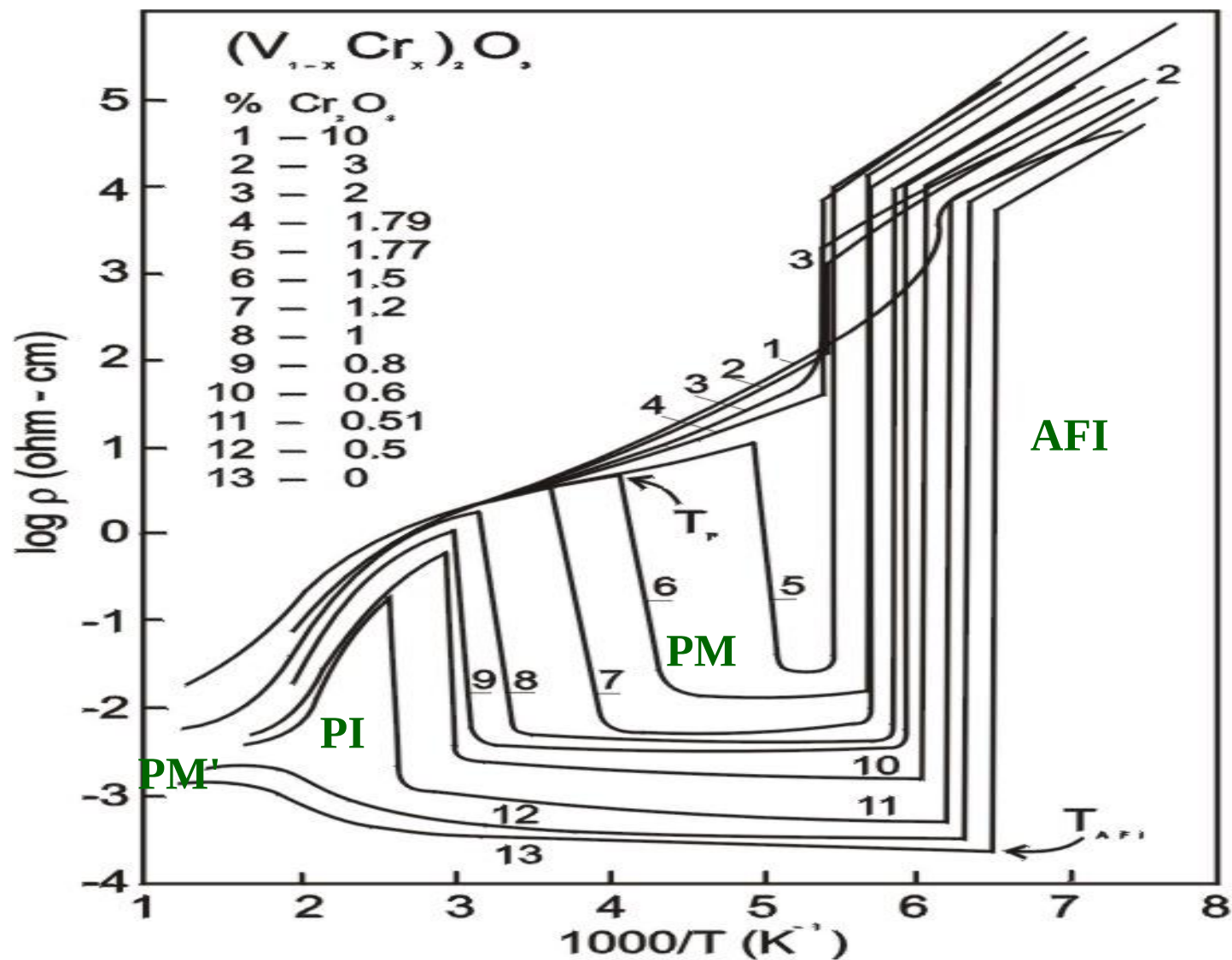
uniwersalność stanu nadprzewodzącego (nadciekłego) w fizyce

Uwagi do kondensacji kwantowej: sc & sf

- Stan kwantowy (?) a przejście fazowe klasyczne

Przykład 4: kwantowe zjawiska krytyczne

- **przejście metal - izolator**
- **nielandauowskie ciecze kwantowe
(układy ciężkich fermionów)**
- **nadprzewodnictwo
wysokotemperaturowe**



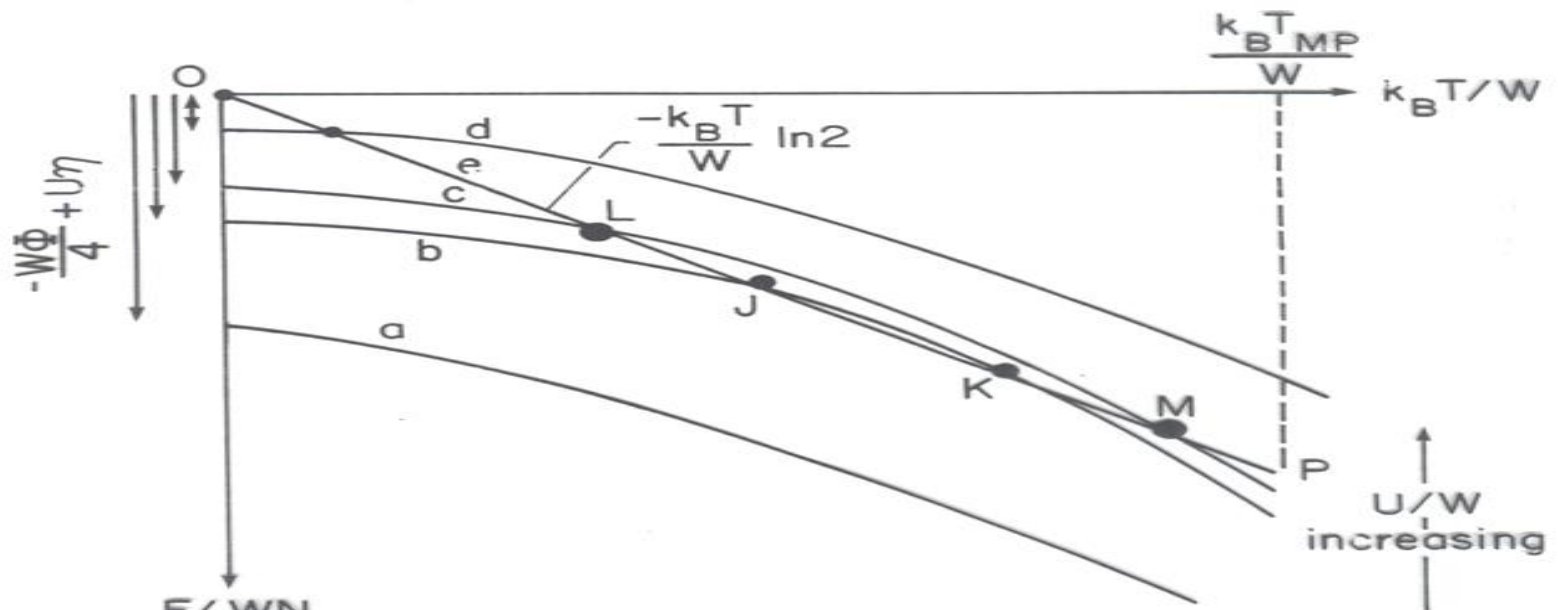
T

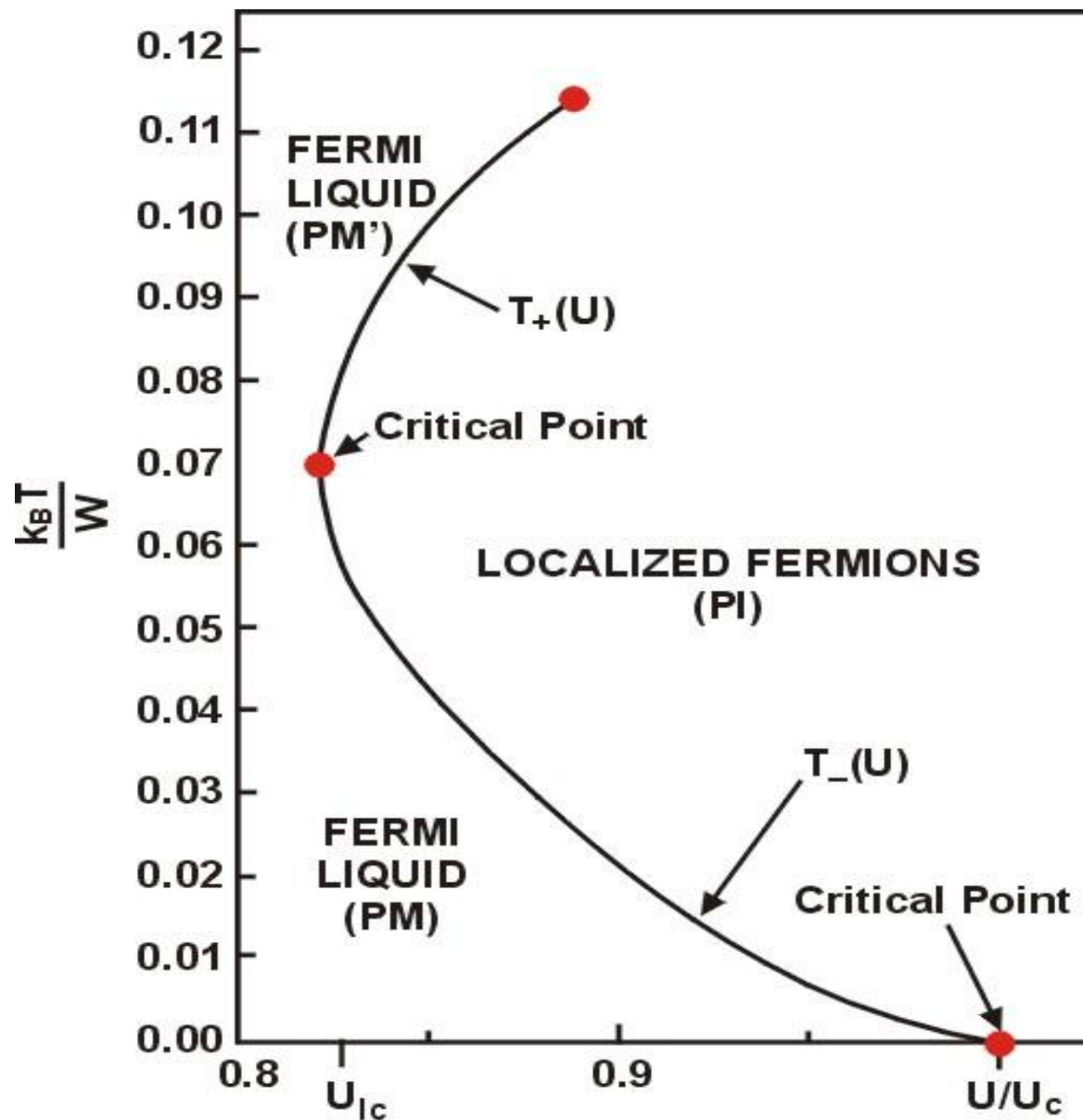
H. Kuwamoto et al., PRB 22 (1980) 2626

$$\left\{ \begin{aligned} F_{\text{metal}} &= (1 - U/U_c)^2 \bar{\epsilon} - \frac{1}{2} \frac{\gamma_0 \pi^2}{1 - (U/U_c)^2} \\ F_{\text{insulator (param)}} &= -k_B T \ln 2 \quad (E_{\text{ex}} = 0) \end{aligned} \right.$$

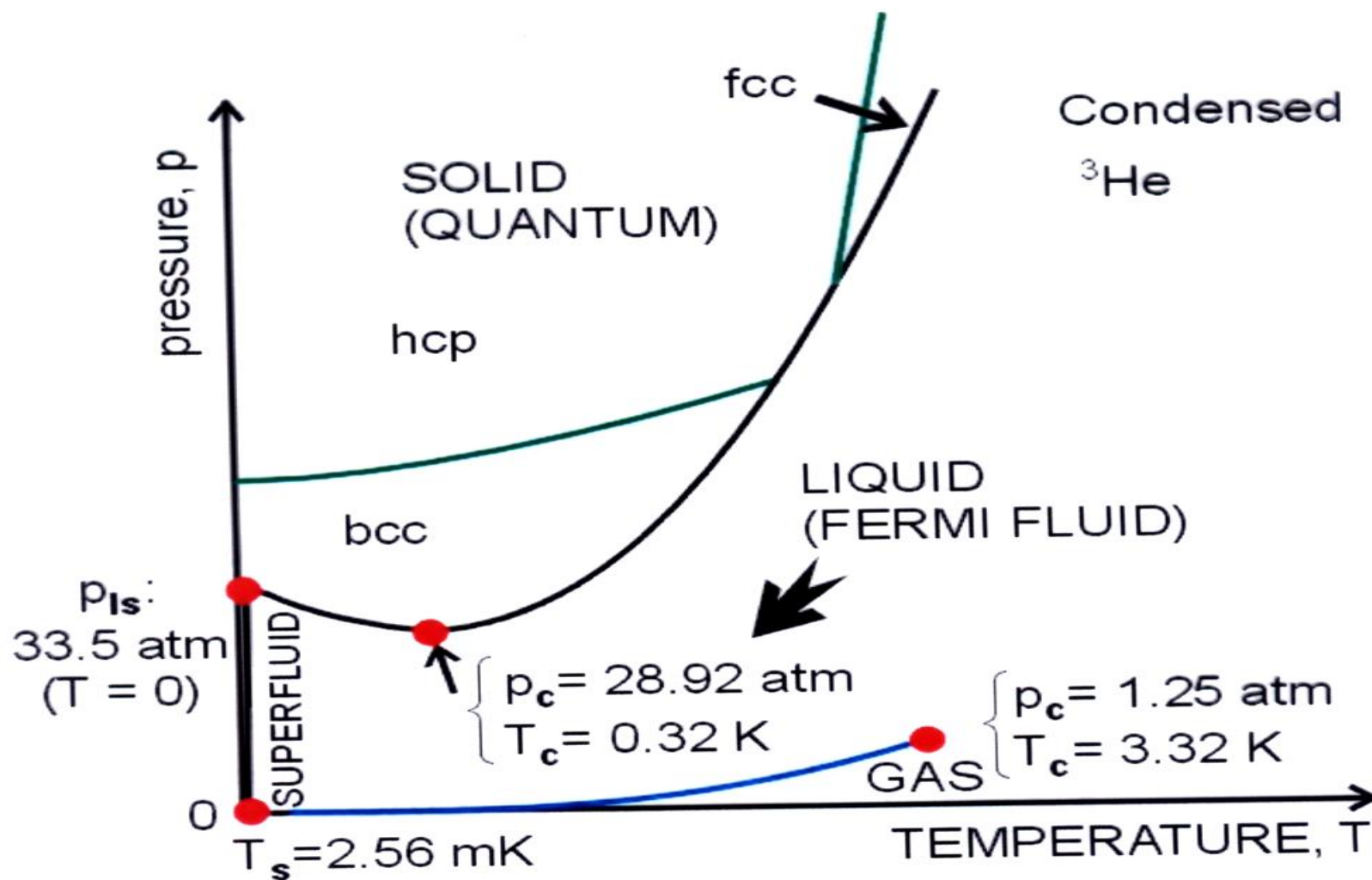
Coexistence: $F_{\text{metal}} = F_{\text{insulator}}$
(PM - PI)

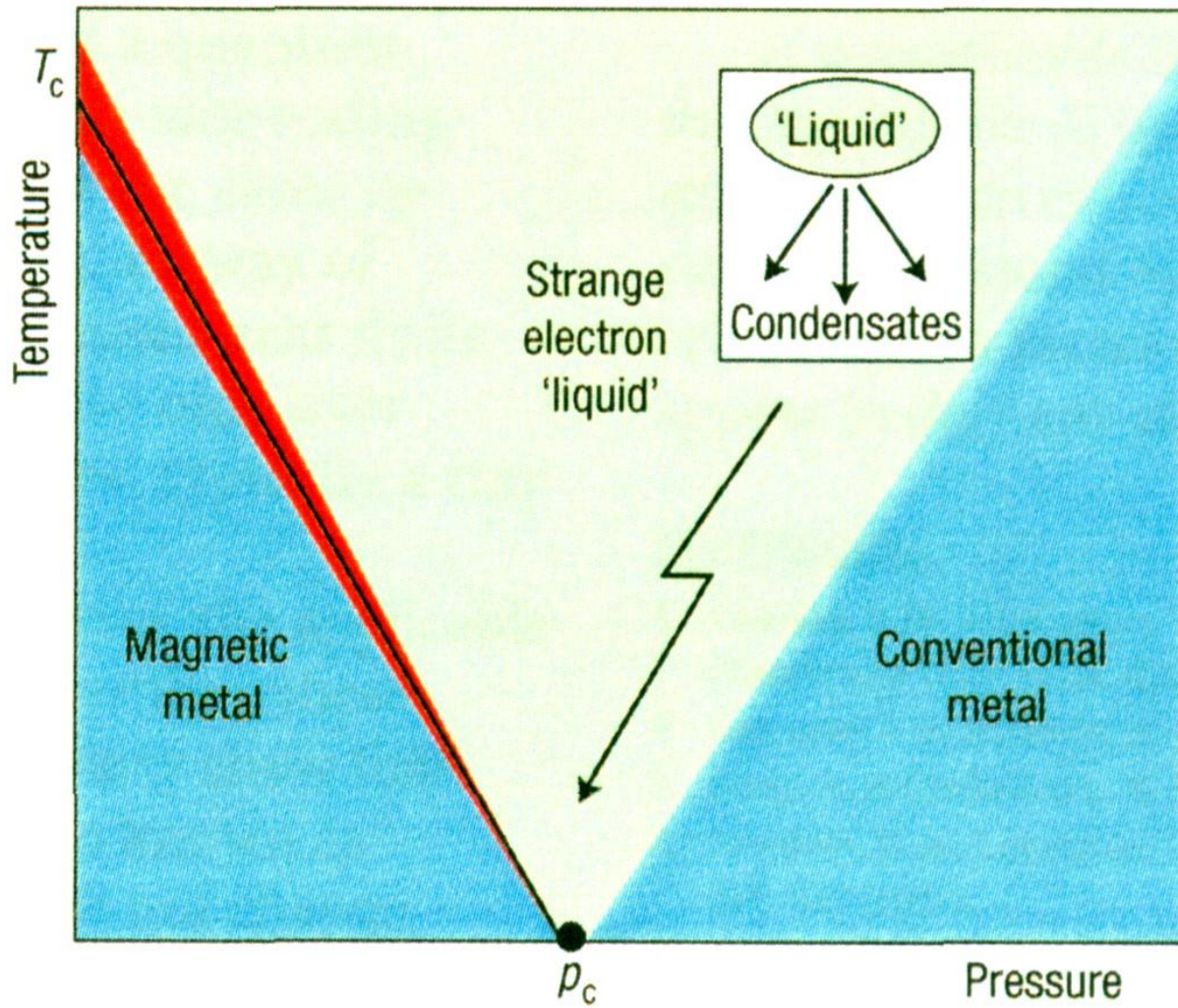
$$k_B T_{\pm} = \frac{3\Phi_0}{2\pi^2\rho} \left\{ \ln 2 \pm \left[(\ln 2)^2 - \frac{4}{3} \pi^2 \rho |\bar{\epsilon}| \left(\frac{1 - \frac{U}{U_c}}{\Phi_0} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}$$



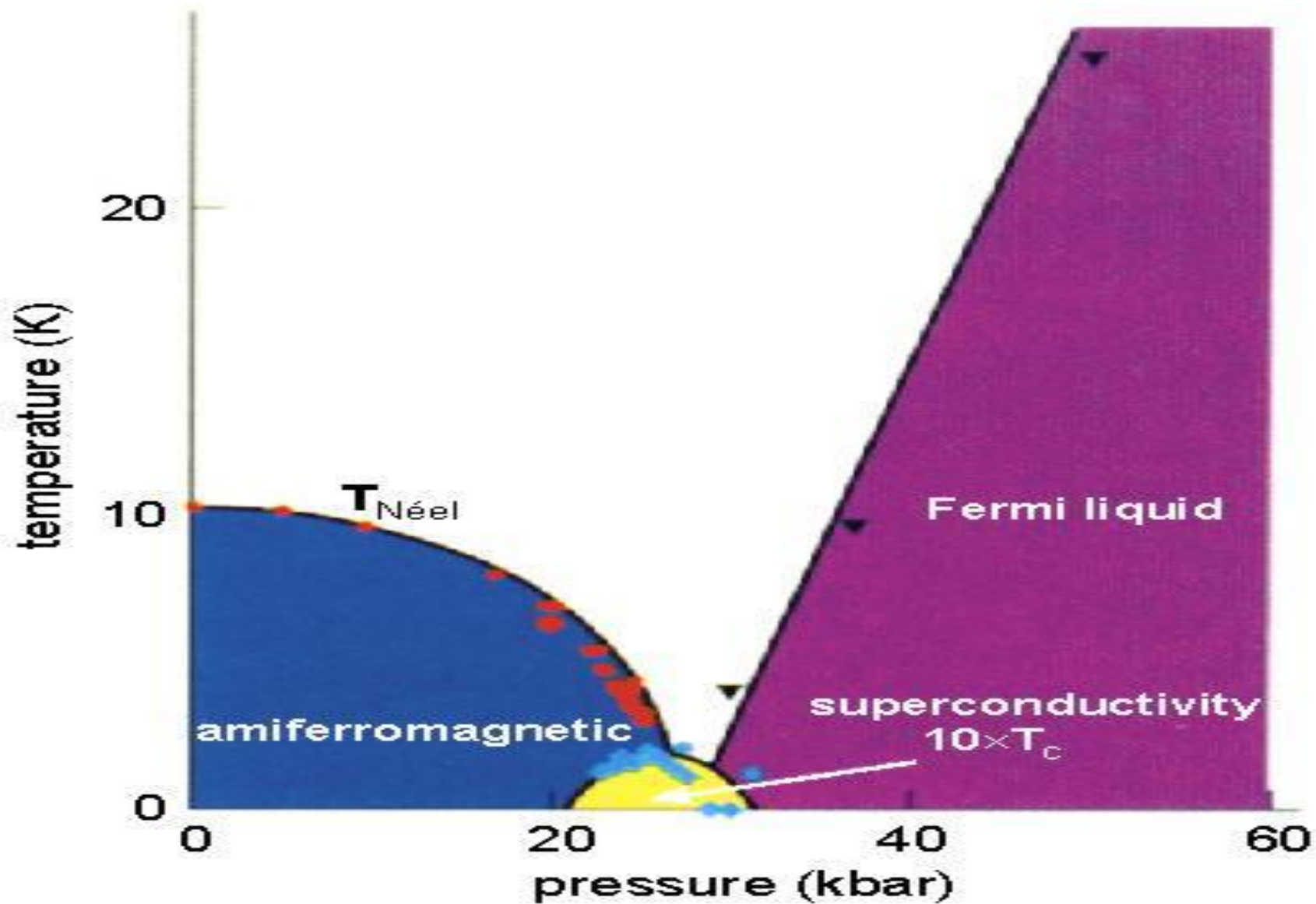


J. S. et al., PRL **59**, 728 (1987) – orbitally nondegenerate;
 A. Klejnberg & J. S., PRB **57**, 12 041 (1998) – degenerate.





G. Lonzarich, Nature (2005)



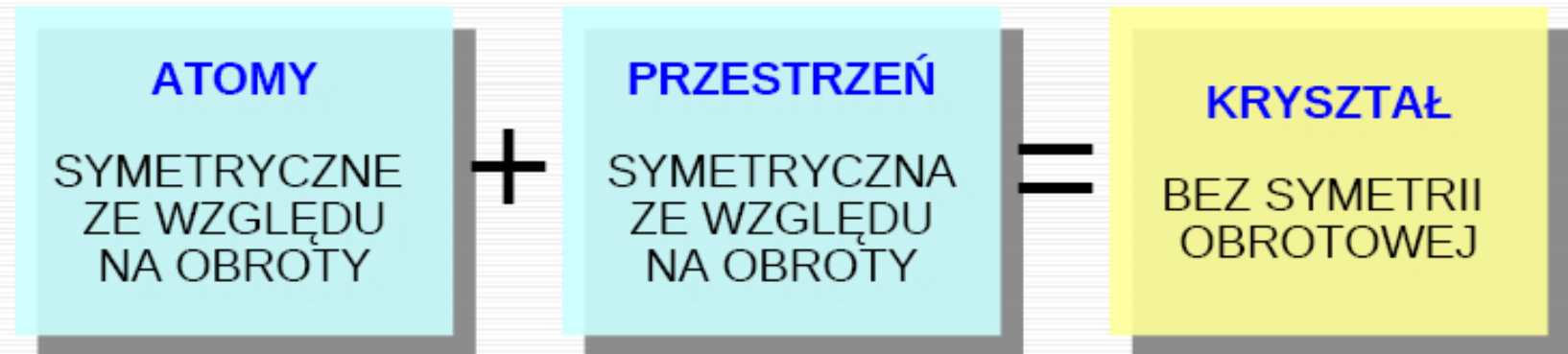
Quantum Phase Transitions

- System of quantum (indistinguishable) particles
- $T_C = 0$ (no thermal entropy)
- Competition between two mechanical energies:
kinetic and interaction
- Singularities for $T \rightarrow 0$, for example
 $C_p \sim T^\alpha$ **or** $\ln(T/T_0)$
- We have to know quantum statistical properties
for $T > 0$, but $\rightarrow 0$

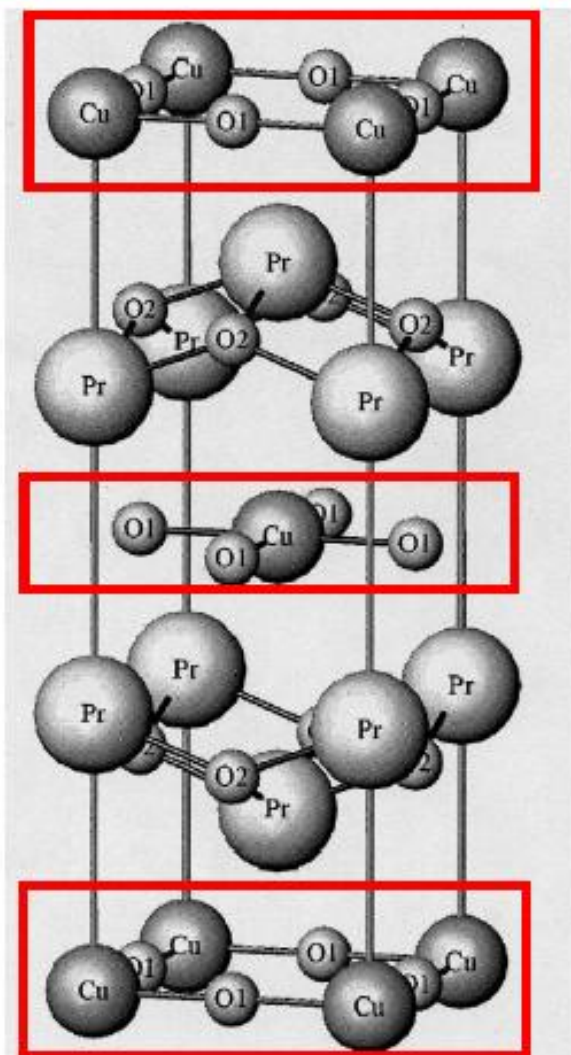
**Breakdown of Pauli, Landau, Sommerfeld,
Bethe, Fermi ... single-particle picture?**

TAK

PRZYKŁAD: TWORZENIE SIĘ KRYSTAŁU



CuO₂ planes



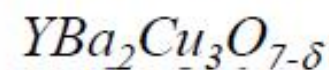
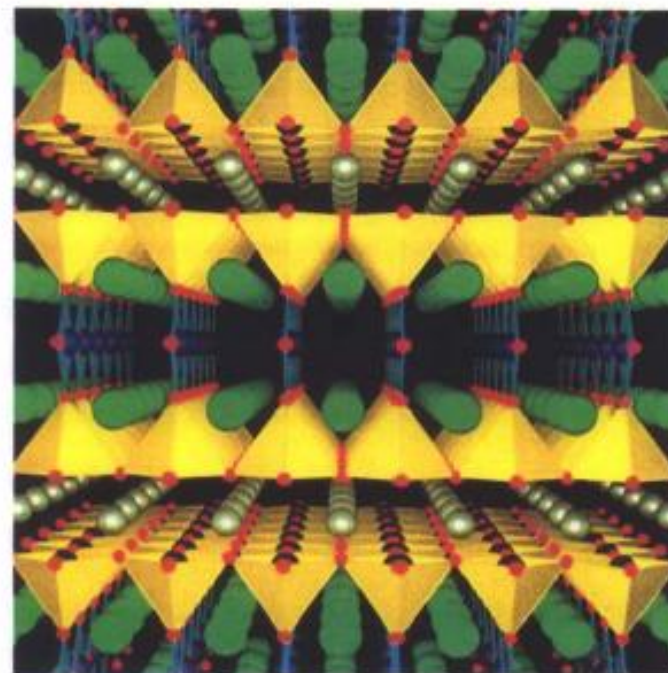
SCIENTIFIC AMERICAN

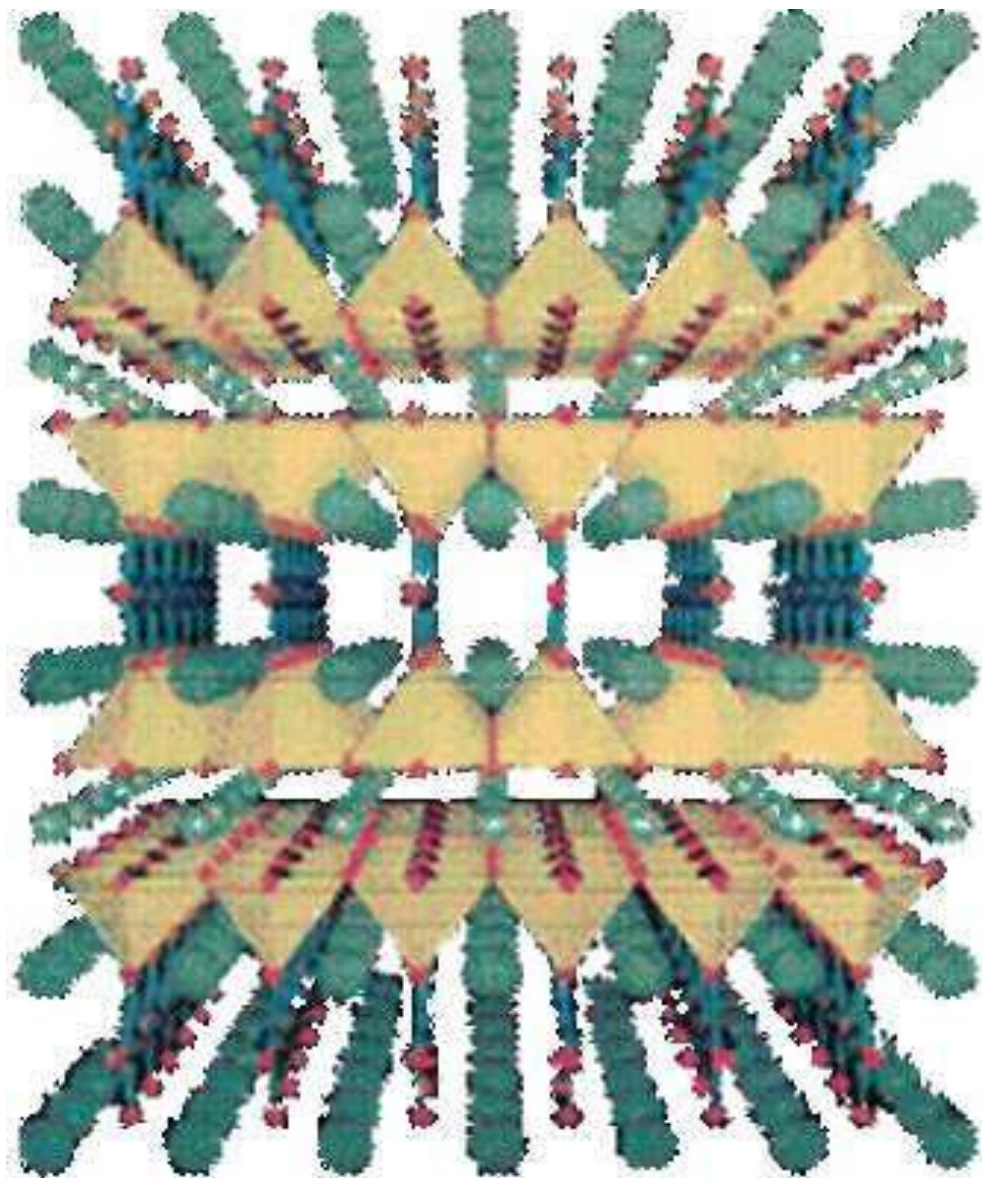
JUNE 1988
\$3.50

How nonsense is deleted from genetic messages.

R for economic growth: aggressive use of new technology.

Can particle physics test cosmology?

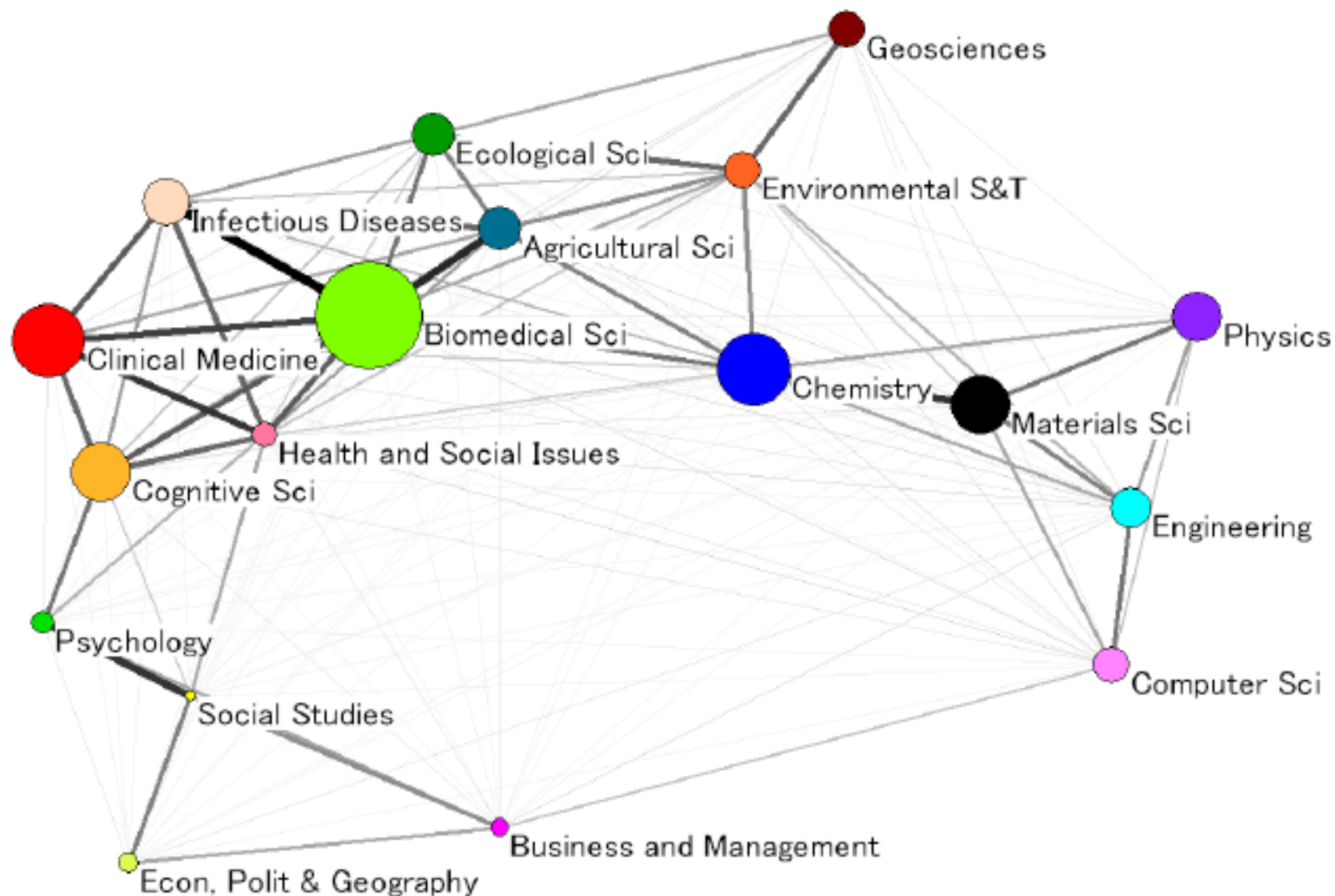




Przykład inżynierii atomowej świata. Na zdjęciu architektura atomów miedzi, tlenu, baru i itru stanowiących strukturę jednego z nadprzewodników wysokotemperaturowych: $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_7$ (wg „Świata Nauki”)

10-15 miliardów elementów
wymieniających informację i
oddziałujących nieliniowo (jak to
mogę ogarnąć: **tylko kora jest tym
nadrzędnym obiektem,
samoświadomość**); **connectivity!!!**

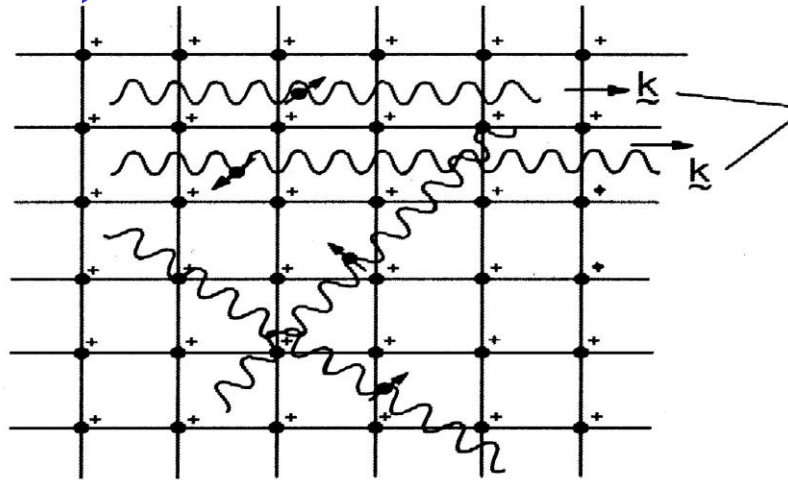
Prawo zerowego rzędu -
informatycznego podejścia do
opisu otoczenia: nigdy nie
zbudujemy pełnego opisu
ilościowego bo nie zbudujemy
bogatszego języka , tj. nie
stworzymy opisu z większej liczby
kombinacji, niż ta, z której się
składamy;



The core structure of science. Cosine similarity of 18 macro-disciplines created from factor analysis of ISI Subject Categories in 2007. The size of nodes is proportional to number of citations produced.

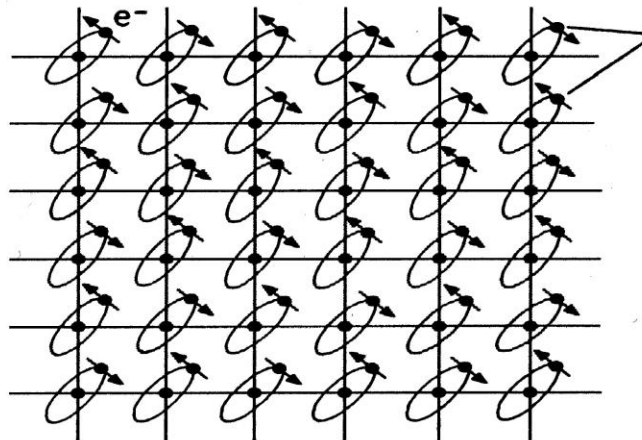
Delocalized versus localized

a) Metal



Plane waves
(Bloch states)

b) Mott-Hubbard insulator



Atomic states

THERMODYNAMICS:

$$\left\{ \begin{array}{l} F_{\text{metal}} = \left(1 - \frac{U}{U_c} \right)^2 \overline{\epsilon} - \frac{1}{2} \frac{\gamma_0 T^2}{1 - \left(\frac{U}{U_c} \right)^2} \\ F_{\text{insulator (param)}} = -k_B T \ln 2 \end{array} \right. \quad (E_{\text{ex}} = 0)$$

Coexistence: $F_{\text{metal}} = F_{\text{insulator}}$
(PM – PI)

$$k_B T_{\pm} = \frac{3\Phi_0}{2\pi\rho} \left\{ \ln 2 \pm \left[(\ln 2)^2 - \frac{4}{3} \pi^2 \rho |\overline{\epsilon}| \frac{\left(1 - \frac{U}{U_c} \right)^2}{\Phi_0} \right]^{1/2} \right\}$$

Important:
Two transitions

Aspekty jakościowe

- symetria układu/problemu/modelu/stanu
- złamanie symetrii
- dualizm falowo-korpuskularny (zasada superpozycji)
- uniwersalność (np. przejść fazowych)

Aspekty ilościowe(opisu układów)

- grupy symetrii, reprezentacja grup
- parametr porządku, przejście fazowe i zjawiska krytyczne
- równanie dynamiczne (r. falowe), teoria rozproszeń
- teoria skalowania wielkości fizycznych, niezależność praw fiz. od miejsca we Wszechśw., itd.

Reductionism vs. Constructivism

"... At each level of complexity entirely new properties appear, and the understanding of the new behaviors requires research which is as fundamental in its nature as any other. That is, it seems that one may array the sciences roughly linearly in hierarchy: the elementary concepts of science X obey the laws of science Y."

P. W. Anderson, *Science* 1972; 1995

X	Y
Solid state or many-body physics	Quantum (particle) physics
Chemistry	Many-body physics
Molecular biology	Chemistry
Psychology	Physiology
Social science	Psychology

Trzy podstawowe pytania Przyrodnika

1. Jakie jest źródło życia?
2. Jaka jest natura umysłu?
3. Jaka jest natura Kosmosu (**Wszechświata**)?
 - Jaki jest sens naszego istnienia? - **niezbyt sensowne bo**

T. Kotarbiński:

Sens życia tkwi w samym życiu

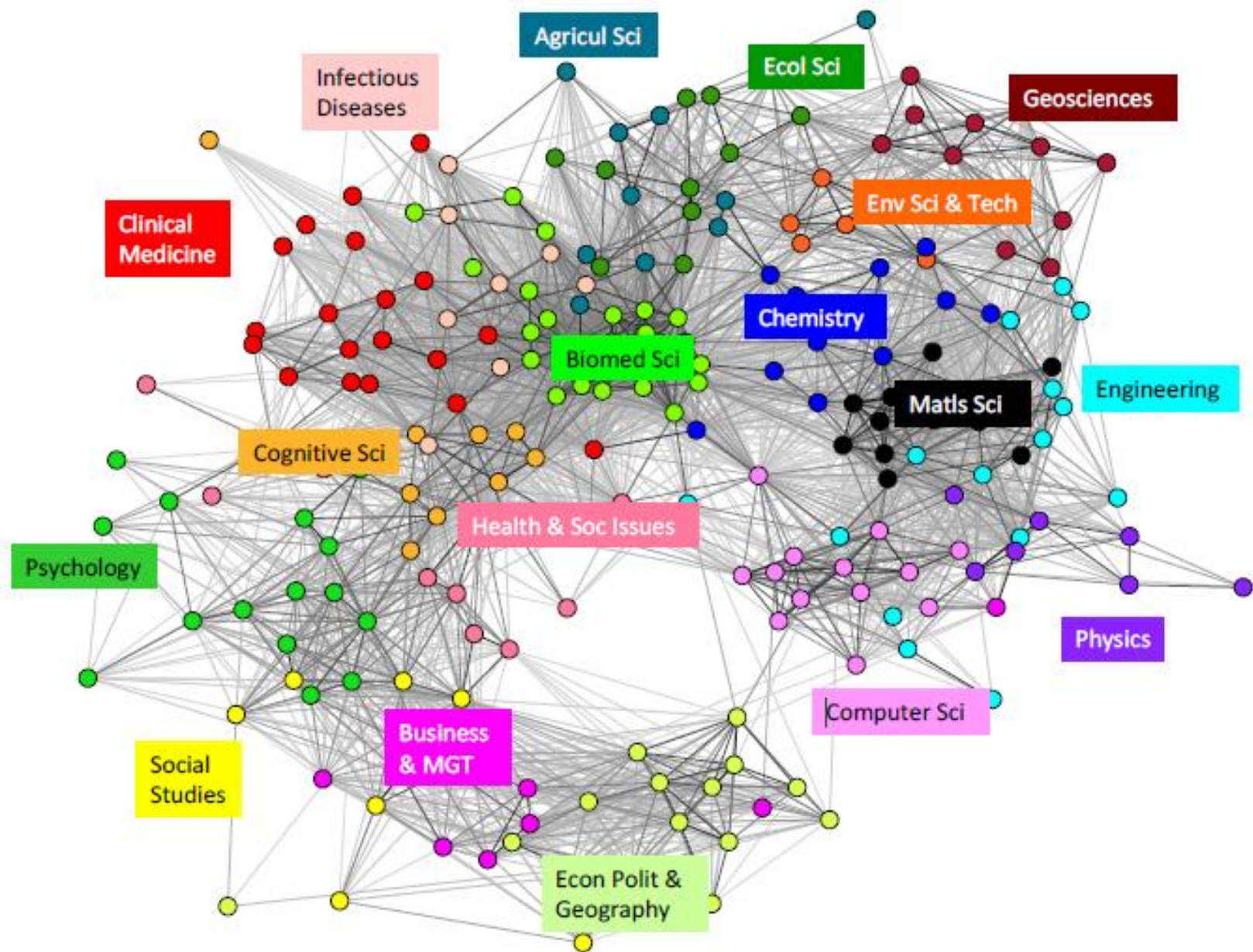
Emergentność - powstawanie złożoności z konkurencyjności oddziaływań, nieliniowości i fluktuacji w układach przyrodniczych



Józef Spałek



**Instytut Fizyki im. Mariana
Smoluchowskiego,
Uniwersytet Jagielloński**



Global science map based on citing similarities among ISI Subject Categories (2007).

I.Rafols, A.L.Porter, L. Leydesdorff arXiv:0912.3882 [cs.DL]