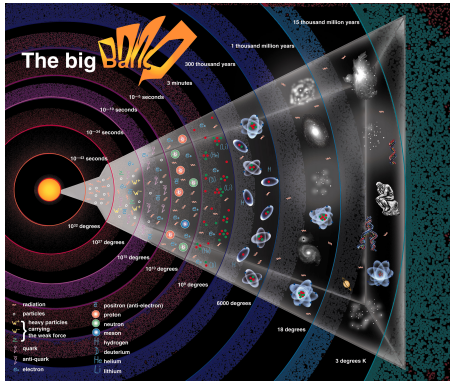


# Temperatura w fizyce klasycznej i kwantowej

Janusz Gluza, <https://prac.us.edu.pl/~gluza/>

Święto Pi & Dzień Otwarty Instytutu Fizyki, [online](#), 15.03.2021

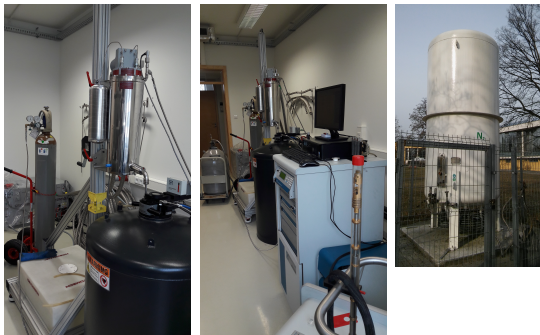


Stopnie Kelwina:

$$10^{32} \text{ (BB)} \rightarrow 273.2 \text{ (H}_2\text{O)} \rightarrow 0$$

F. kwantowa      F. klasyczna      F. kwantowa

## Niskie temperatury w IF UŚ w Chorzowie



Kilka grup badawczych w IF UŚ bada własności materii w niskich temperaturach  
(fizyka ciała stałego, fizyka molekularna, nanofizyka, biofizyka)

# Można i tak wykorzystać ciekły azot

https://www.nitrolody.com/pl/01000



Główna Strona

Galeria

O Nas

Jak To Działa

Eventy

Media o Nas

Nowe



Główna Strona

Galeria

O Nas

Jak To Działa

Eventy

Media o Nas

Nowe




Zygmunt Wróblewski, Karol Olszewski, 1883, UJ Kraków



# Badanie materii w wysokich energiach

Fizyka jądrowa (eksperyment NA61 w CERN), LHC oraz FCC w CERN (teoria),  
 astrofizyka, kosmologia (teoria)

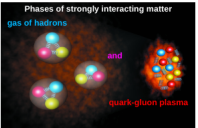
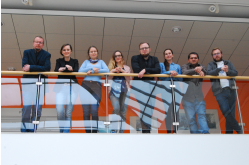
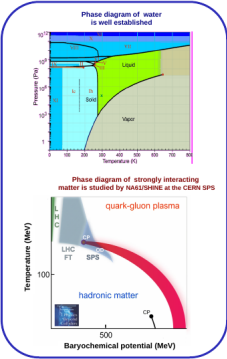
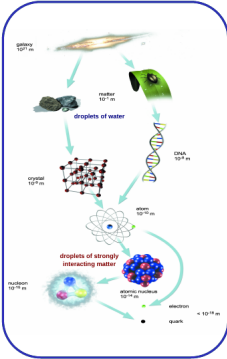
**Phases of water**



Properties of water, its phases and transitions between them, are defined by electromagnetic interactions and can be easily studied in the laboratory.

Properties of strongly interacting matter, its phases and transitions between them, are defined by strong interactions and can be uncovered only by study of nucleus-nucleus collisions

**Phases of strongly interacting matter**



Układ SI (od 1790) definiuje 7 podstawowych jednostek fizycznych



Temperatura jest jedną z podstawowych jednostek

Wielkość	Jednostka	względna dokładność
Długość	m	$1 \times 10^{-12}$
Masa	kg	$1 \times 10^{-8} \rightarrow ?$
Czas	s	<b><math>3 \times 10^{-15}</math></b>
Prąd	A	$4 \times 10^{-8}$
<b>Temperatura</b>	<b>K</b>	<b><math>3 \times 10^{-7}</math></b>
Światłość	kandela	$1 \times 10^{-4}$
Miara substancji	mol	$8 \times 10^{-8}$

Punkt potrójny: <https://www.youtube.com/watch?v=Juz9pVVsmQQ>

## Główny Urząd Miar

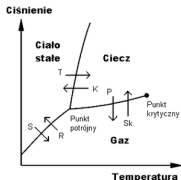
<https://www.gum.gov.pl/redefinicja-si/redefinicja-si/kelwin/2614,kelwin.html>  
2021-03-06, 08:53

## kelwin

Autor : Aleksandra Gadomska  
Opublikowane przez : Adam Zeberkiewicz



temperatura termodynamiczna → kelwin → K



## Definicja obowiązująca do 19.05.2019

1/273,16 część temperatury termodynamicznej punktu potrójnego wody

## Nowa definicja - od 20.05.2019

kelwin, oznaczenie K, jest to jednostka SI temperatury termodynamicznej. Jest ona zdefiniowana poprzez przyjęcie ustalonej wartości liczbowej stałej Boltzmanna  $k$ , wynoszącej  $1,380\ 649 \times 10^{-23}$ , wyrażonej w jednostce  $\text{J K}^{-1}$ , która jest równa  $\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$ , gdzie kilogram, metr i sekunda zdefiniowane są za pomocą  $h$ ,  $c$  i  $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ .

### Status zabezpieczeń COVID-19

#### Poziom 2: wdrożenie zaostrzonego rygoru sanitarnego

Praca świadczona głównie zdalnie, Uczelnia zamknięta dla osób trzecich, ograniczenie mobilności i kontaktów, zwiększenie ograniczeń w funkcjonowaniu Uczelni

Szanowni Państwo,

Oddział katowicki Polskiego Towarzystwa Fizycznego, Instytut Fizyki Uniwersytetu Śląskiego oraz Bielsko-Bialski Ośrodek Doskonalenia Nauczycieli zapraszają nauczycieli fizyki na mono-tematyczne warsztaty związane z nauczaniem fizyki w szkole.

Pierwsze zajęcia będą siłą rzeczy prowadzone online i raczej będą miały charakter wykładów z dyskusją on-line. Jak tylko będzie to możliwe, będziemy organizować warsztaty w pracowniach i laboratoriach Wydziału Nauk Ścisłych i Technicznych UŚ, na terenie Instytutu Fizyki w Chorzowie.

Plan – wiosna, lato 2021:

#### 1. *Jądro atomowe, promieniotwórczość naturalna i jednostki promieniowania*

4 marca 2021, godz. 16:00;

Miejsce/kanał: MS Teams.

Wykładowcą będzie dr hab. Arkadiusz Bubak z IF UŚ.

Linki do wydarzeń zostaną wysłane mailowo po wypełnieniu formularza [TUTAJ](#).

#### 2. *Nowa definicja jednostki masy*

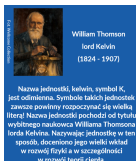
29 kwietnia 2021;

Wykładowcą będzie prof. dr hab. Janusz Gluza.

W międzyczasie, odbędzie się inna dyskusja dydaktyczna:

Konferencja Dydaktyczna dla nauczycieli przedmiotów ścisłych i przyrodniczych Nauczanie przez dociekanie i eksperymentowanie, czyli jak działają Kluby Młodych Odkrywców (KMO) – spotkanie IV, Badanie, dociekanie i eksperymentowanie w dobie pandemii, Termin realizacji: 30-31 marca 17:00-20:00





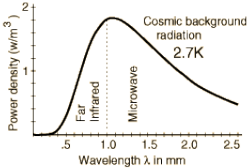
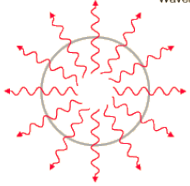
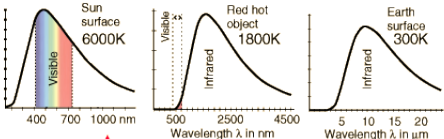
$$t \text{ (wyrażone w } ^\circ\text{C)} = T \text{ (wyrażone w K)} - 273,15$$

W połowie XIX wieku brytyjski fizyk Wiliam Thomson - później lord Kelvin - również zainteresował się ideą „nieskończonego zimna”, czyli stanu, który obecnie nazywamy zerem bezwzględnym (lub zerem absolutnym). W 1848 roku opublikował on pracę "O absolutnej skali temperatur", w której oszacował wartość zera absolutnego na około  $-273 \text{ } ^\circ\text{C}$  z teoretycznych obliczeń temperatury kryształu doskonałego, w którym ustały wszelkie drgania tworzących go cząsteczek.

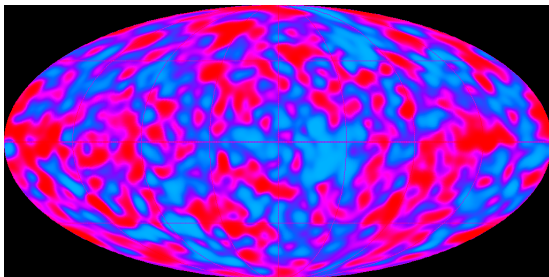
Typowe temperatury:

$10^{-7} \text{ K}$	atomy cezu schłodzone laserem (pomiar czasu)
$2.17 \text{ K}$	stan nadciekły helu
$2.726 \text{ K}$	temperatura tła w przestrzeni kosmicznej
$273 - 373 \text{ K}$	krzepnięcie i parowanie wody
$1811 \text{ K}$	topnienie stali
$5770 \text{ K}$	temperatura powierzchni Słońca
$1.4 \cdot 10^7 \text{ K}$	jądro Słońca
$3 \cdot 10^{10} \text{ K}$	środek Supernowej

# Naturalne laboratorium: Kosmos



## Naturalne laboratorium: Kosmos



Kosmiczne fluktuacje tła mikrofalowego są ekstremalnie słabe, różnica to jedna część na 100 000 w porównaniu ze średnią temperaturą 2,73 Kelwina pola promieniowania. Kosmiczne mikrofalowe promieniowanie tła to pozostałość po Wielkim Wybuchu i fluktuacje są konsekwencją różnic gęstości we wczesnym wszechświecie. Uważa się, że "zmarszczki" gęstości dały początek strukturę które wypełniają dzisiejszy wszechświat: gromady galaktyk i rozległe obszary pozbawione galaktyk.

<http://aether.lbl.gov/www/projects/cobe/>

## Temperatura klasycznie, związana z termodynamiką i statystyką



### Pierwsza zasada termodynamiki

Z każdym stanem równowagowym układu związana jest jego energia wewnętrzna  $U$ . Zmiana  $U$  dla każdego przejścia między dwoma stanami równowagi wyraża się jako

$$\Delta U = Q - W.$$

$Q$  - ciepło wymieniane przez układ,  $W$  - praca wykonywana przez układ lub nad nim.

### Druga zasada termodynamiki

Przepływ ciepła nie może przebiegać od zimniejszego ciała do cieplejszego. (Clausius)  
Niemożliwe jest otrzymanie pracy mechanicznej z jakiegokolwiek układu materialnego przez oziębienie go poniżej temperatury najzimniejszego z otaczających obiektów (Kelvin)

### Trzecia zasada termodynamiki

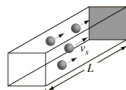
Nie można osiągnąć temperatury zera bezwzględnego.

(→ prof. Spiechowicz, "Mniej niż zero (absolutne) - czy to możliwe?)

## Temperatura a ruch cząstek

### Boltzmann (1844-1906)

Rachunek prawdopodobieństwa, rozkład Boltzmana, np. czy lód wrzucony do wody może obniżyć swoją temperaturę, kosztem wody, która się przez to podgrzeje? Może, choć jest to mało prawdopodobne (fluktuacje)



$$\bar{F} \Delta t = \Delta p = 2mv_x \quad (1)$$

$$\Delta t = \frac{2L}{v_x} \quad (2)$$

$$\bar{F} = \frac{2mv_x}{\frac{2L}{v_x}} = \frac{mv_x^2}{L} = \frac{m[v_{1x}^2 + v_{2x}^2 + \dots + v_{Nx}^2]}{L} \quad (3)$$

$$\bar{v}_x^2 = \frac{[v_{1x}^2 + v_{2x}^2 + \dots + v_{Nx}^2]}{N} \quad (4)$$

$$\bar{F} = \frac{mN\bar{v}_x^2}{L} \quad (5)$$

$$\bar{v}^2 = \frac{[v_x^2 + v_y^2 + v_z^2]}{N} = 3\bar{v}_x^2 \quad (6)$$

$$p = \frac{\bar{F}}{S} = \frac{mN\bar{v}^2}{3LS} = \frac{N}{3V}m\bar{v}^2 = \frac{2N}{3V} \frac{m\bar{v}^2}{2} \quad (7)$$

$$E_k = \frac{3}{2}kT; \quad pV = NkT$$



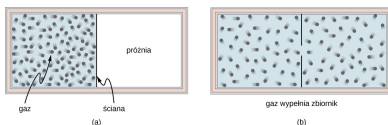
## II zasada termodynamiki ujęcie statystyczne

**Entropia S** (pojęcie wprowadzone przez Clausiusa) zawsze rośnie (układ dąży do maksymalnego nieporządku), np. kawałek lodu wrzucony do wody topi się, a temperatura w układzie wodalód wyrównuje się

$$S = k \log(W)$$

W – prawdopodobieństwo termodynamiczne stanu;

k – stała Boltzmana

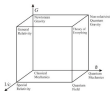


Boltzmann krytykowany m.in. przez Macha i Ostwalda

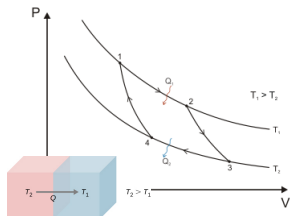
Zwolennicy tzw. energetyzmu „fizyka powinna zajmować się wyłącznie wielkościami, które można wyznaczać na podstawie pomiarów, nie zaś rozważać wymyślone obiekty mikroskopowe, których nikt nigdy nie widział i nie zobaczy“

**Entropia czarnej dziury**

$$S = \frac{kc^3}{4\hbar G} A$$



## Temperatura, praca, ciepło



$$[p \cdot V] = \left[ \frac{N}{m^2} \cdot m^3 \right] = [N \cdot m] = [J]$$



Carnot wykazał, że praca wykonana przez maszynę parową jest wprost proporcjonalna do ilości ciepła, jaka przepływa z kotła do kondensatora i że ciepło jest w stanie wykonać pracę tylko przy przejściu z ciała cieplejszego do zimniejszego. Jest to tzw. cykl Carnota i podstawa termodynamiki

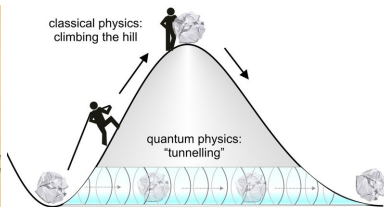
1824: Uwagi o mocy poruszającej ognia i maszynach zdolnych do wyzwolenia tej mocy



Praca Carnot przeszła bez echa, dopiero Clapeyron w 1834 roku opisał pracę Carnota i po raz pierwszy narysował cykl pracy

## Mechanika kwantowa - efekt tunelowy

<https://www.quantamagazine.org/quantum-tunnel-shows-particles-can-break-the-speed-of-light-20201020/>



Cząstki to fale (dualizm falowo-korpuskularny).

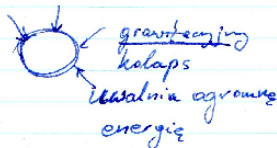
[https://d2r55xnwy6nx47.cloudfront.net/uploads/2020/10/Quantum\\_Tunnelling-2.gif](https://d2r55xnwy6nx47.cloudfront.net/uploads/2020/10/Quantum_Tunnelling-2.gif)

## Energia słoneczna - historia

Słońce : tunelowy efekt.

krótką historię :

1854 Helmholtz (Mayer) :



1859 (150 lat temu) Darwin : wiel. Ziemi wg erozji  
kanionu w Anglii ~ 300 mln lat }  
tylko czasu Słońca / myśli  
energii → skąd ?

Lord Kelvin : energia grawitacyjna →  
30 mln lat

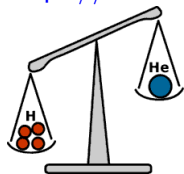
dzisiaj → Darwin miał rację,  
co więcej teraz (radioaktywność meteoroidów)

4.6 mld lat

↓ skąd energia ?

# Energia słoneczna - historia

<https://www.nobelprize.org/prizes/themes/how-the-sun-shines-2/>



1920 Aston

$$4m_p > m_{He}$$

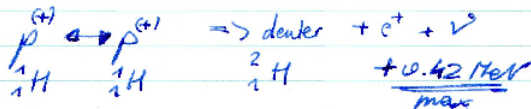
Eddington

$$\rightarrow E = mc^2$$

!

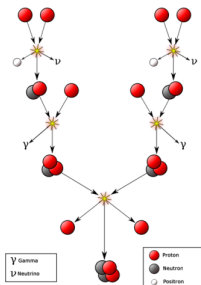
teraz znamy cyklę itp.

pp



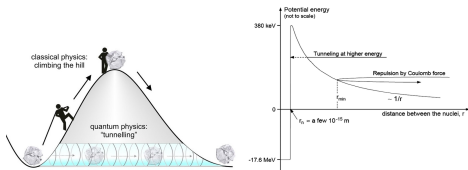
Bethe

## Fuzja jądrowa




W centrum Słońca temperatura sięga 16 milionów K, a ciśnienie jest ponad miliard razy większe od ciśnienia atmosferycznego na Ziemi! Słońce co sekundę przekształca około 5 milionów ton masy w energię (~cieplną).

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}, \quad r \rightarrow 0 \implies F \rightarrow \infty$$



# Rozpad jądrowy alfa



Gamma  
 $\alpha$

Zadanie 2 Griffiths

$T = e^{-2\gamma}$  (WKB)

$\gamma = \text{bariera zylkowa}$

$$\gamma = \frac{1}{\hbar} \int |p(x)| dx = \frac{1}{\hbar} \int_0^{2a} \sqrt{2m(V_0 - E)} dx$$

$$= \frac{2a}{\hbar} \sqrt{2m(V_0 - E)}$$


---

Griffiths Calculate  $\tau$   $U^{238}, P\alpha^{212}$

$$\tau = \frac{2\tau_0}{\nu} e^{2\gamma}$$

$\tau_0 = (1.02 \text{ fm}) A^{1/3}$

Energia emitowanego  $\alpha$ :

$$E = m_p c^2 - m_d c^2 - m_\alpha c^2$$

$\downarrow$  parent  $\downarrow$  daughter

Estimate  $\nu \approx \frac{1}{2} \nu_\alpha \nu_\alpha^2 \rightarrow (V_0 - E)$  zmienny potencjal

$U^{238}$	$Z=92$	$A=238$	$m = 238.050788 \text{ u}$
			$T_{1/2}^{238} = 239.045583 \text{ u}$

$$r_0 = 1.02 \cdot 10^{-14} (238)^{1/3} = 6.63 \cdot 10^{-14} \text{ m}$$

$$E = (238.050788 - 234.040952 - 4.002602) \cdot 931 \text{ MeV}$$

$$V = \frac{25}{\text{min}} = \frac{2.424}{3924} \cdot 310^8 \text{ s}^{-1} = 1.95 \cdot 10^8 \text{ s}^{-1}$$

$$m_\alpha = 3.727 \text{ GeV}/c^2$$

$$m_{H_2O} = 4.002602 \text{ u}$$

$$\lambda = 1.58 \cdot 10^8 - 1.985 \cdot 10^8 = -4.05 \cdot 10^7$$

$$K_1 = 1.58 \cdot 10^8 \quad K_2 = 1.985 \cdot 10^8$$

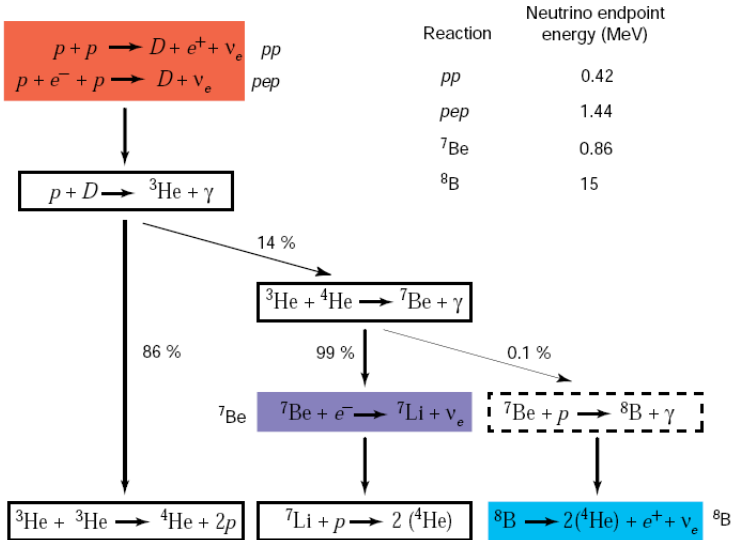
$$= 8 \cdot \frac{4.9 \cdot 10^7}{(4.28)}$$

$$\tau = \frac{2.665 \cdot 10^{15}}{1.44 \cdot 10^7} e^{98.8} = 7.46 \cdot 10^{21} \text{ s} \approx 2.4 \cdot 10^{14} \text{ lat}$$

Podobnie  $\tau_{\text{pole}} \approx 3 \cdot 10^4 \text{ s}$

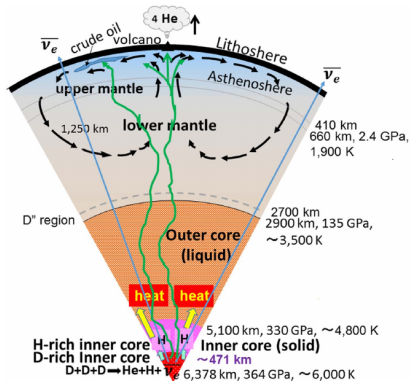
Notatki, wyprowadzenie czasu połowicznego rozpadu alfa dla uranu,  $\tau = 2.4 \cdot 10^{14}$  lat. Całkiem proste, nieprawdza?

# Energia słoneczna - cykle energii





$2^2D + 2^2D \rightarrow 2^2H + 4He + e^- + \nu_e + 21.63 \text{ MeV}$

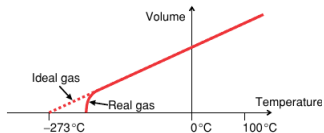


**Figure 2.** Earth's cross-section showing the crust, upper- and lower-mantle, and outer- and inner-cores. The inner core comprises an H-rich core and a D-rich core. A substantial amount of heat is generated by nuclear dynamic fusion of deuterons squeezed in highly compressed hexagonal close-packed (hcp) Fe-rich crystal lattice near the inner core centre. The H and He atoms and the anti-neutrino  $\bar{\nu}_e$  that are produced are incorporated as Fe-H based alloys in the H-rich inner core, are released from Earth's interior to the universe, and pass through Earth, respectively.

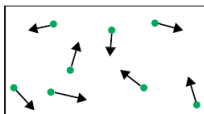
"Possible generation of heat from nuclear fusion in Earth's inner core"

<https://www.nature.com/articles/srep37740>

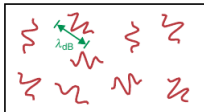
# Gaz doskonały, temperatura absolutna



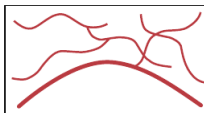
$$pV = NkT, \quad pV \sim T$$



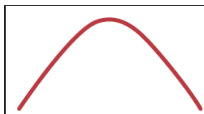
Wysoka temperatura:  
atomy jak kule bilardowe



Niska temperatura:  
atomy jak fale

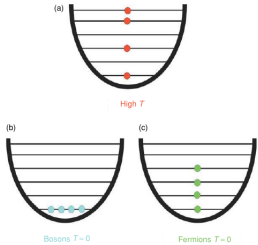
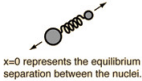
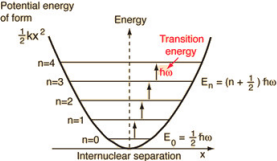
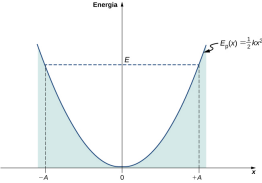
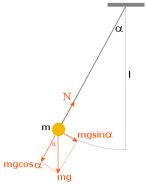
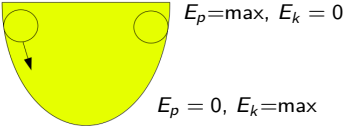


Efekty kwantowe:  
fale materii pokrywają się



Bardzo niskie T:  
atomy te same funkcje  
- bozony

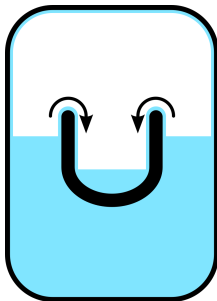
# Gaz doskonały, temperatura absolutna



## Zasada nieoznaczoności Heisenberga!

## Nadpłynność

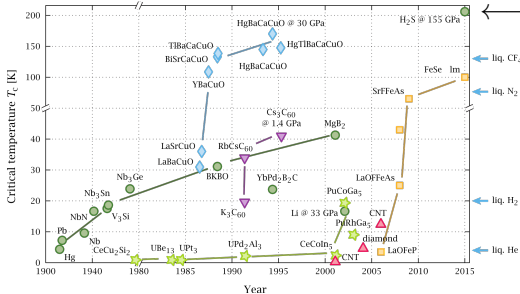
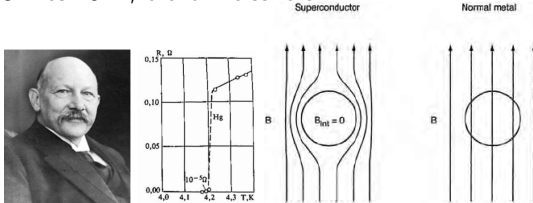
[https://www.youtube.com/watch?v=TBi908sct\\_U](https://www.youtube.com/watch?v=TBi908sct_U)



Nadciekły hel - kondensat Bosego-Einsteina, tworzy na powierzchniach, z którymi się styka, cienką błonkę i wpływa do wewnętrznego naczynia

# Nadprzewodnictwo

Kamerlingh Onnes 1911, efekt Meissnera



Zastosowania: nieograniczone, o ile ...

<https://www.youtube.com/watch?v=A1vyB-O5i6E>

<https://www.youtube.com/watch?v=WIXY6GIEYI4>

Dziękuję za uwagę i zapraszamy do dalszych kontaktów i studiowania w IF UŚ!

## Obszary badawcze

- fizyka teoretyczna, fizyka atomowa i molekularna, fizyka fazy skondensowanej, fizyki jądrowa i cząstek elementarnych, astrofizyka i kosmologia,
- nanofizyka, mikro i nanotechnologia, biofizyka, fizyka medyczna, fizyka leków, fizyka stosowana.

