

# Filozofia przyrody

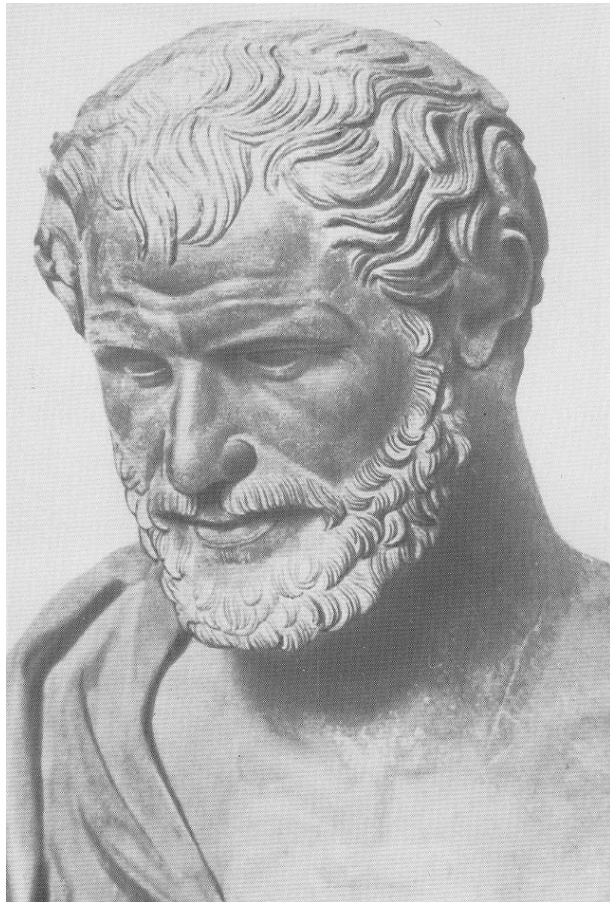
## Wykład V: Struktura materii – Demokryt vs. Einstein

Prof. dr hab. inż. Grzegorz Karwasz  
*Uniwersytet Mikołaja Kopernika w Toruniu*

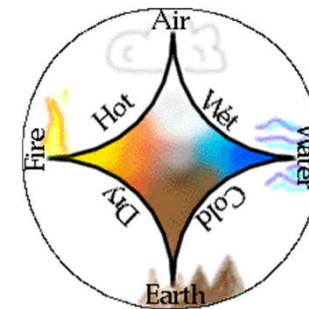
[karwasz@fizyka.umk.pl](mailto:karwasz@fizyka.umk.pl)

[www.dydaktyka.fizyka.umk.pl](http://www.dydaktyka.fizyka.umk.pl)

# Już starożytni Grecy...



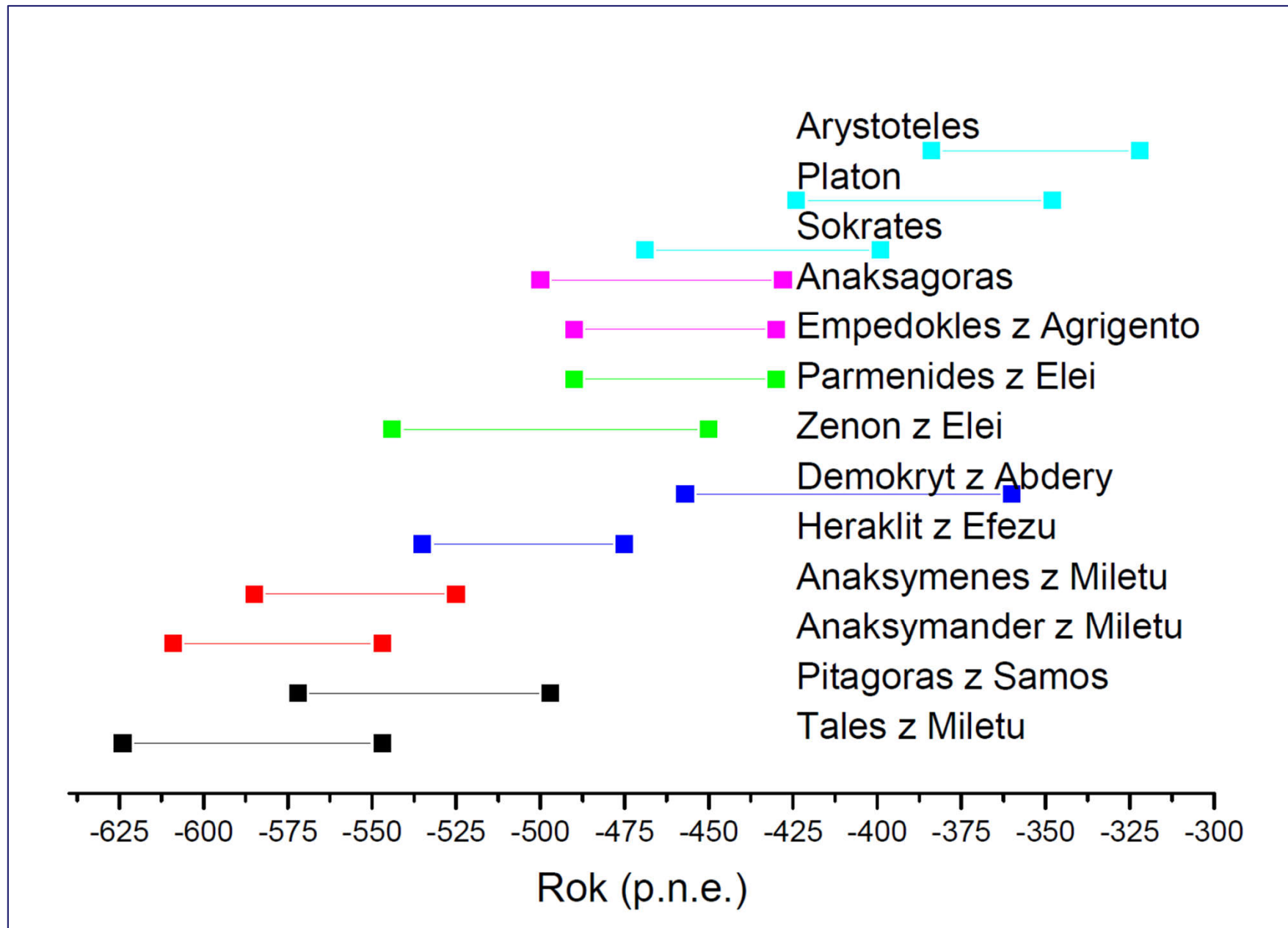
- ... zastanawiali się,
- z czego zbudowany jest Wszechświat
  - A co trzyma go w całości?



Platon ↔ Demokryt

- Podzielny?
- Atomowy?

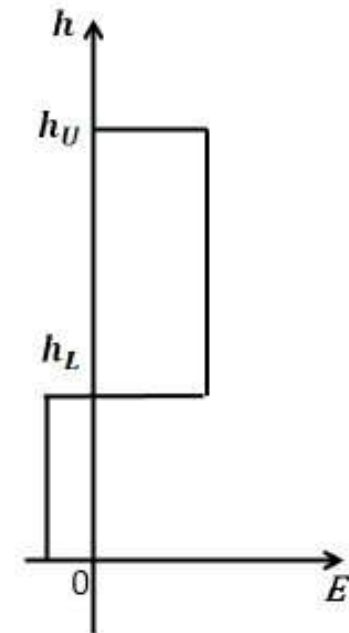
# Jońska szkoła filozofii przyrody



# Heraklit (ok. 500 p.n.e.): *ogień*

- Pochodził z rodu założyciela kolonii w Efezie
- Odstąpił godność po ojcu bratu
- Mimo, że do Miletu było 40 km, z Anaksymeneselem nie współpracował
- Jego traktat omawia: 1) kosmologię, 2) politykę, teologię: rozszerzył więc zakres zainteresowań filozofów „jońskich:

*Arche* to ogień: „spływając z górnych siedzib ogień zamienia się w powietrze, ono znów opadając skrapla się w wodę, a woda spływa na ziemię i wsiąka w nią; ale znów ziemia paruje, wyziewy jej tworzą wodę, ta przetwarza się w chmury i wraca do górnej ojczyzny jako ogień” (Wł. Tatarkiewicz, t. I, str. 30)



# Heraklit (ok. 500 p.n.e.): *panta rei*

- Istotą rzeczy jest zmienność. Nie wchodzimy dwa razy do tej samej rzeki – i woda jest inna i my zmieniliśmy się w międzyczasie.

- „Nie ma rzeczy o stałych własnościach; nie ma bytu jest tylko stawanie się. Ta teoria powszechnej zmienności, ten „wariabilizm” powszechny jest najbardziej znanym poglądem Heraklita. Wszystko było zmienne dla Heraklita – ale przez to właśnie istniało dlań coś stałego: zmienność. Ona jest stałą własnością przyrody. I więcej jeszcze: stały jest porządek, wedle którego dokonywa się przemiana.

Od Heraklita należy wyprowadzić wszelkie dalsze koncepcje ewolucji, starcia przeciwieństw, tezy – antytezy – syntezy, „walki klas” itd.

Heraklit był zapewne pierwszym filozofem, który mówił o rozumie działającym we wszechświecie

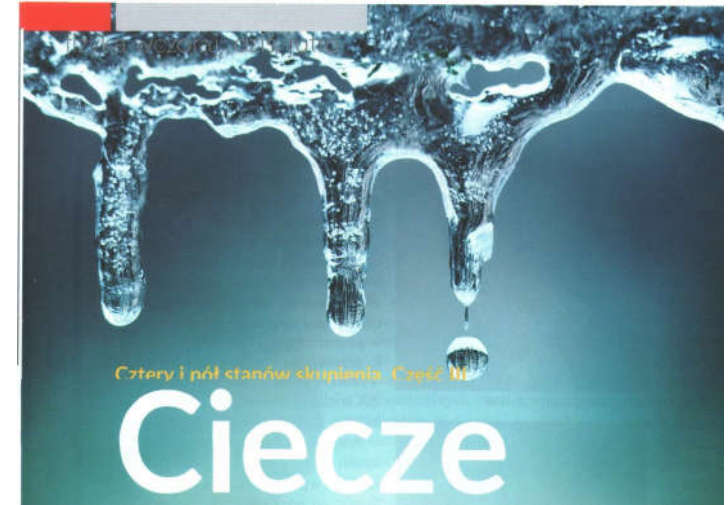
- Dzisiaj podobne poglądy znajdujemy u zwolenników koncepcji *Intelligent Design*. Jak pisałem w krótkim liście do *Science* w 2017 roku, nie do końca się z tą koncepcją zgadzamy.

- „Złymi świadkami są oczy i uszy ludziom, którzy mają dusze barbarzyńców.” To bodaj najdawniejsza refleksja poznania, jaka przechowała się w filozofii europejskiej. (Wł. Tatarkiewicz, *Historia filozofii*, t. I, str. 32)

# Empedokles (ok. 450 a.C.): cztery *elementy*



„Ziemia”: określona objętość i kształt



„Woda”: określona objętość, ale nie kształt



„Powietrze”: ani określona objętość ani kształt



„Ogień”: gorący (zjonizowany) gaz

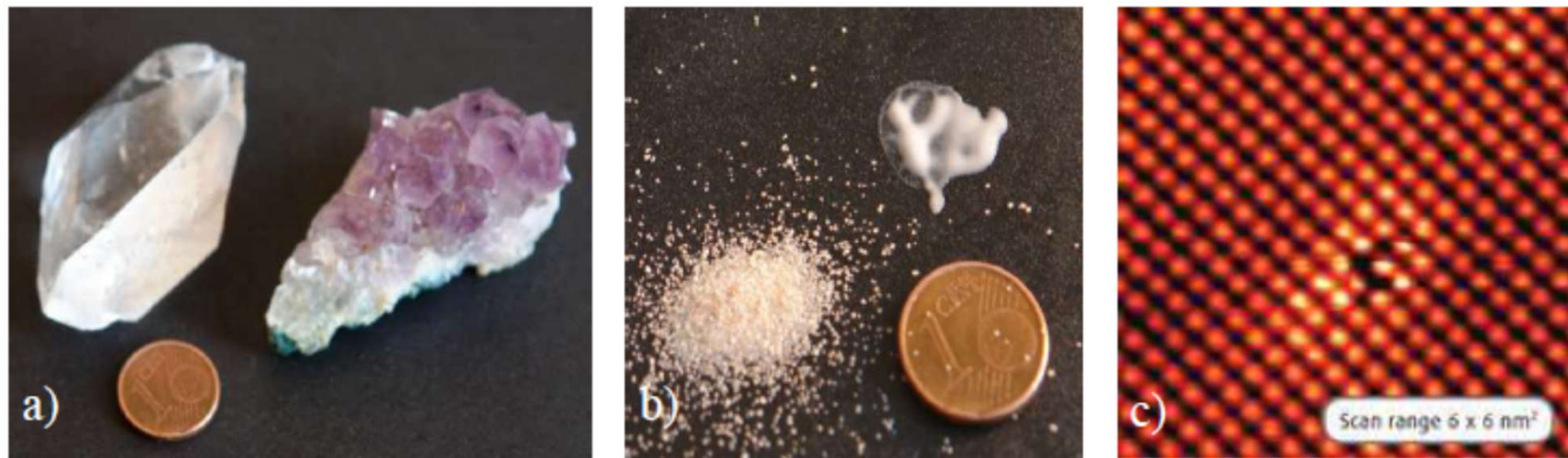
„Cztery i pół stanów skupienia” – GK, Fizyka w Szkole, 2019-2021

[https://dydaktyka.fizyka.umk.pl/nowa\\_strona/?q=Fizyka%20w%20Szkole](https://dydaktyka.fizyka.umk.pl/nowa_strona/?q=Fizyka%20w%20Szkole)

# Kryształ, piasek, pył, atom

## 1.7. Atomy i cząsteczki

Kryształ kwarcu, składnik wielu skał, można rozkruszyć na ziarenka piasku. Biała zawiesina niektórych płynów do mycia ceramiki to też ziarenka kwarcu, ale rozmiarów tysięcznych części milimetra. Czy można rozbić te ziarenka na jeszcze drobniejsze?



Fot. 1.12. Jak daleko można podzielić kryształ kwarcu? a) Duży kryształ kwarcu i mały ametystu z Brazylii; b) w płynie do szorowania kryształki kwarcu mają rozmiary tysięcznych części milimetra; c) mikroskopia siła atomowych (AFM) pozwala obserwować pojedyncze atomy na powierzchni kryształu soli kuchennej – w środku zdjęcia widoczny jest *defekt* w sieci krystalicznej.  
[http://www.omicron.de/index2.html?/rom/qplus\\_atomi\\_resolution/index.html~Omicron](http://www.omicron.de/index2.html?/rom/qplus_atomi_resolution/index.html~Omicron)

# „Atomy”

On the Track of Modern Physics

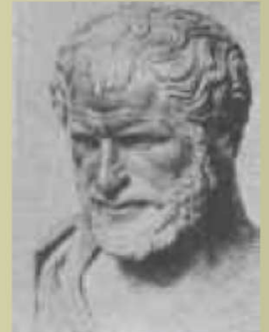
## A-tom, i.e. in-dividual



Ταύγετος - view from Sparta

"Tria àtoma" krzyczy operator wyciągu narciarskiego w Taigetos, ośnieżonych górach po drugiej stronie Peloponezu, niedaleko Sparty, kiedy zbliża się kolejne krzeselko.

Słowo "a-tomos" ma dziś w języku greckim takie samo znaczenie jak w czasach Demokryta



Democritus  
(Abdera, ca. 470-370 BC).

Atomy dla Demokryta miały dwie właściwości: rozmiar i kształt.

Atomy łączą się ze sobą w różnych porządkach (stechiometria i wzór strukturalny?) i tworzą różne substancje.

Atomy są w ciągłym ruchu i zderzają się ze sobą (jak w doskonałym modelu gazu Boltzmanna?), ich ruch decyduje o ich masie (masa protonu wynika nie z masy spoczynkowej gluonów, ale z ich ruchu, dzięki  $m=E/c^2$  Einsteina

Atomy emitują płyny (fotony?), które można zaobserwować

Czy możemy zgodzić się z Demokrytem teraz, w XXI wieku?



### How to count atoms?

The best way is on your fingers.  
But you need a very small finger!



### How to measure atoms?

Did you ever play with a drop of oil on the surface of the broth? Trying to stretch it to a bigger pond?



# Demokryt (ok. 460 – 370 p.n.e.)

„Demokryt, syn Egistraty, albo Atenokryty, albo Damasyptiona, urodził się w Abderze albo w Milecie, w roku „oscylującym” między 472 a 457 p.n.e. Jak zwykle anagraf filozofów przed Sokratesem jest tym, czym jest: szeroką listą dat i niepewnych ojców. Zresztą, wczujmy się w tych biednych Greków: prawdziwego kalendarza nie mieli [stąd łacińskie powiedzenie *ad calendam graecam* oznacza „nigdy”] a kiedy zostali zmuszeni do podania daty urodzenia, radzili sobie jakoś odwołując się do aktualnego archonta lub do zwycięzców Olimpiad.”

Pochodził z bogatej rodziny, był najmłodszy z czwórki rodzeństwa. Kiedy zmarł ojciec, Demokryt zrezygnował z przysługującej mu części ziem, ale „wbrew swoim zasadom etycznym, jedynie przyjął sumę pieniężną” odpowiadającą mniej więcej milionowi euro dziś. I to tylko dlatego, aby móc podróżować i poznać jak największą ilość mędrców. Był niestrudzonym podróżnikiem: uczył się astronomii od Chaldejczyków, teologów od magów, i geometrii od Egipcjan. Odwiedził Etiopię, Morze Czerwone, a nawet Indie, gdzie poznał gimno-sofistów. [kasta kapłańska Brahmy]

Luciano De Crescenzo, *Storia della filosofia greca*, Mondadori, Milano, 1995, s. 198

# Demokryt (I)

Starożytna teoria atomów miała cztery zasadnicze tezy:

a) Cała przyroda składa się jedynie z mnogości atomów, czyli niepodzielnych cząsteczek. Z nich złożone są wszystkie znajdujące się w przyrodzie ciała.

b) Atomy posiadają wyłącznie ilościowe własności, a nie posiadają jakościowych. Własności odróżniające jedne atomy od drugich są tylko trojaki: kształt, położenie i porządek; Arystoteles ilustrował je przez zestawienie liter (np. A i N; A i < ; AN i NA). Te nieliczne, a wyłącznie geometryczne własności atomów tłumaczą wszelkie własności ciał złożonych.

c) Ponadto powszechną własnością atomów jest ruch. Jest równie odwieczny jak same atomy, nie potrzebował im być nadawany przez jakiś czynnik zewnętrzny. Polega on jedynie na zmianie miejsca w przestrzeni. Stanowi jedyną postać przemiany, jakiej podlegają atomy.

d) Atomy znajdują się i poruszają w próżni. Próżnia istnieje wbrew dawniejszym filozofom, a zwłaszcza eleatom, którzy odrzucali ją jako niebyt. Istnieje, bo jest niezbędna dla wytłumaczenia zjawisk, mianowicie ruchu; jakże bowiem mogłyby się poruszać atomy, jeśli by nie było pustego miejsca, gdzie by mogły się usunąć; tłumaczy ona również wzrastanie i zmniejszanie się przedmiotów, a także różny stopień oporu, jaki przedmioty stawiają.

# Demokryt (II)

Dla Demokryta atomy mają tylko dwie cechy: rozmiar i kształt geometryczny; Każdy agregat atomów może układać się w innym porządku, co skutkuje różnymi związkami.

Ciała powstają w wyniku ruchu atomów. Tym, co nadaje im ruch, nie jest jakaś siła extra, lecz naturalny stan wewnętrzny w nich samych [dziś wiemy: ciepło].

Ruch atomów [kwarków] decyduje również o ich masie, która zależy właśnie od większej lub mniejszej prędkości, jaką osiągają w zderzeniu z innymi atomami.

- chemia: związki chemiczne to struktury atomów
- atomy są w wiecznym ruchu – ten ruch określa temperaturę, rozszerzalność termiczną, topnienie, parowanie itd.

Skupiska te wytwarzają w nas percepcje zmysłowe, gdy znajdują się w kontakcie z naszymi zmysłami: np. widzimy przedmiot, gdy „emisja” od atomów [fotony] zaczynająca się od obiektu uderza w nasze oko.

- efluidy atomów, czyli fotony, które docierają do oka

# Jaki jest atom?

5. *Über die von der molekularkinetischen Theorie der Wärme geforderte Bewegung von in ruhenden Flüssigkeiten suspendierten Teilchen;*  
*von A. Einstein.*

Wenn sich die hier zu behandelnde Bewegung samt den für sie zu erwartenden Gesetzmäßigkeiten wirklich beobachten läßt, so ist die klassische Thermodynamik schon für mikroskopisch unterscheidbare Räume nicht mehr als genau gültig anzusehen und es ist dann eine exakte Bestimmung der wahren Atomgröße möglich. Erweise sich umgekehrt die Voraussage

Umgekehrt läßt sich die gefundene Beziehung zur Bestimmung von  $N$  benutzen. Man erhält:

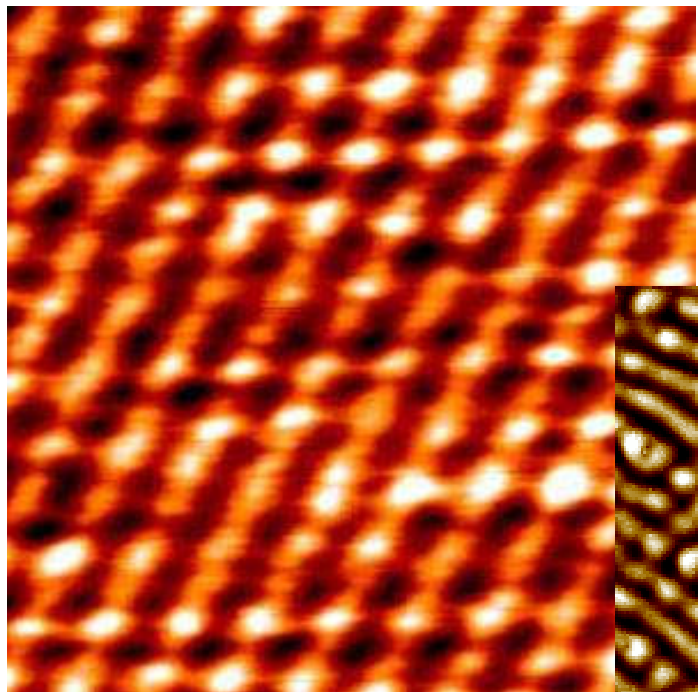
„możliwie dokładną ocenę rozmiarów atomu” 
$$N = \frac{t}{\lambda_x^2} \cdot \frac{RT}{3\pi kP}$$

Möge es bald einem Forscher gelingen, die hier aufgeworfene, für die Theorie der Wärme wichtige Frage zu entscheiden!

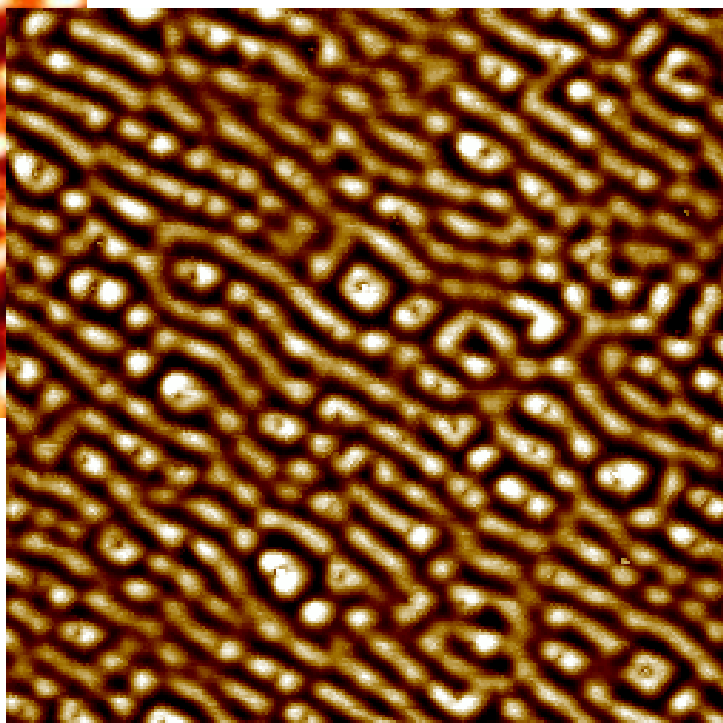
Bern, Mai 1905.

(Eingegangen 11. Mai 1905.)

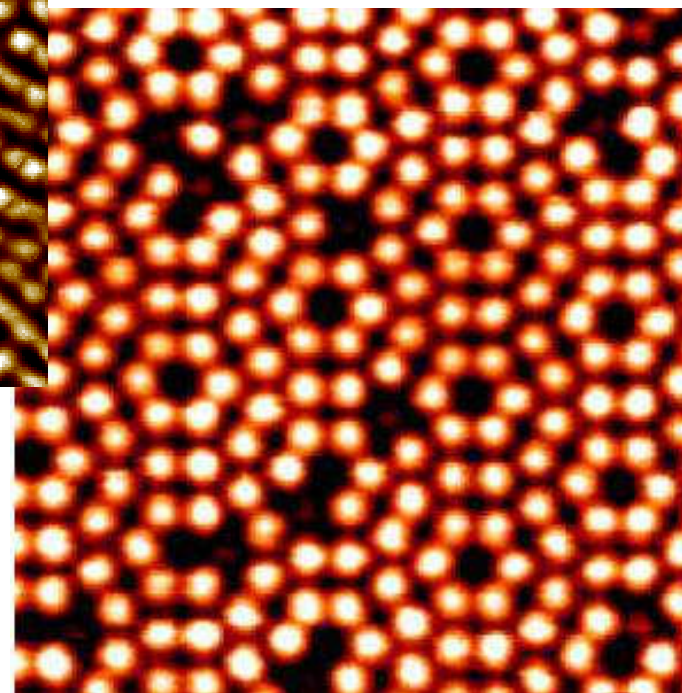
Dziś atomy możemy  
zobaczyć i zmierzyć



German



German - krzem



Krzem

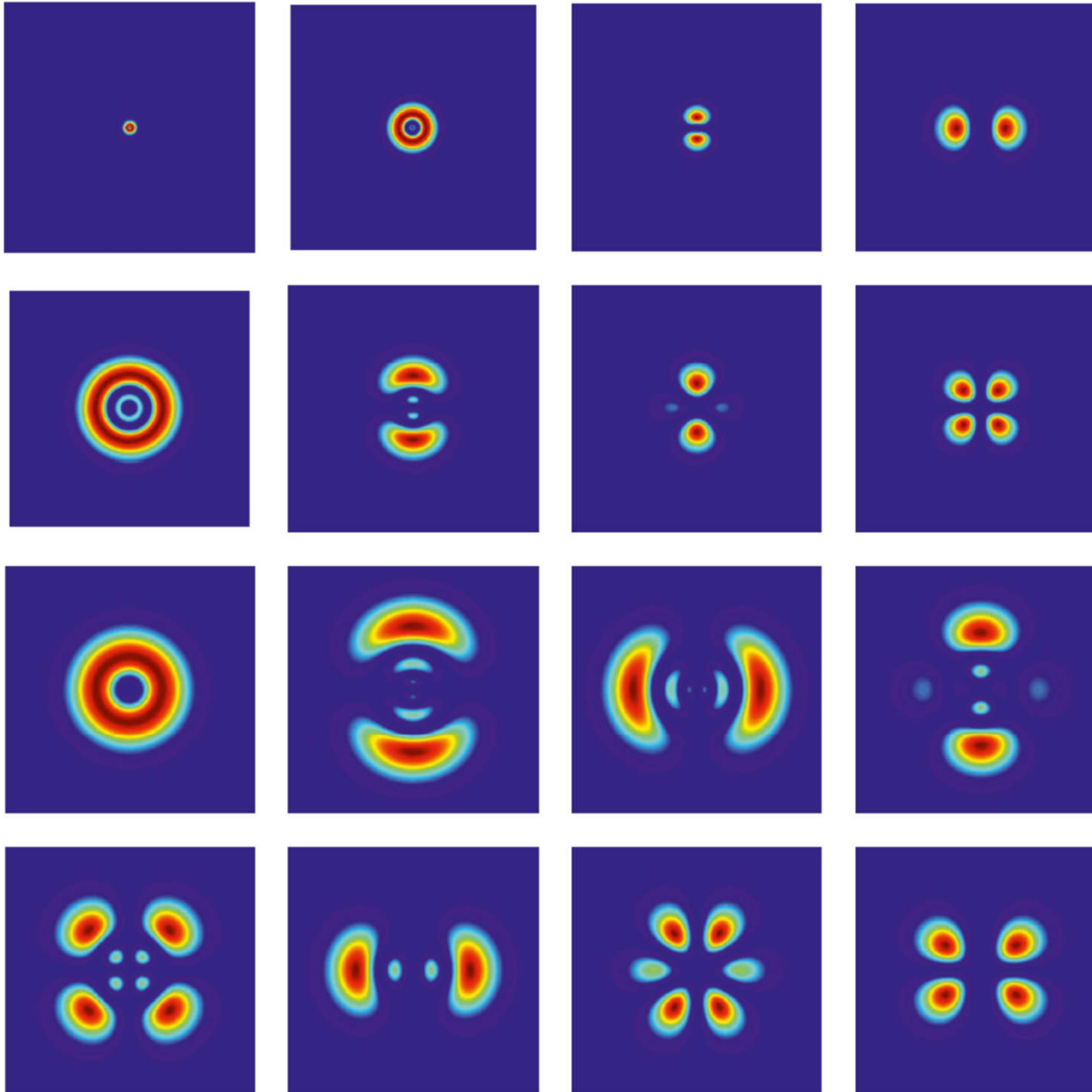
# Kształty atomów

- Świat materialny składa się z atomów i próżni; atomy to cząstki, w nieskończonej ilości, absolutnie punktowe, a więc niepodzielne, identyczne w swych cechach [składające się z elektronów i jądra], ale różniące się formą.
- Próżnia natomiast to po prostu próżnia, czyli ni-coś(ć) (*oudén*), która istnieje tak jak istnieje coś (*dén*).
- Mówiąc jeszcze prościej, świat jest zbudowany z kawałeczków materii, bardzo twardych [nieściśliwych, jak ciecze, gdzie atomy się stykają], w formie kulek, sześciątów, dwunastościanów [zob. ponownie orbitale], które poruszają się w pustej przestrzeni fizycznej.
- Te elementarne cząstki materii czasem się skleją, tworząc inne formy, czasem się rozdzielają.
- Możemy mówić o tworzeniu się cząsteczek (tj. związków chemicznych) albo np. o krystalizacji, polimerach

Cicerone, *De finibus* I 6, 17, cytowany przez:

L. De Crescenzo, *Storia della filosofia greca*, Mondadori 1995, str. 203

# Kształty atomów: orbitale



$1s, 2s, 2p_z, 2p_y$

$3s, 3d_{xz}, 3d_{zz}, 3p_{yz}$

$$Y_{0,0} = \frac{1}{\sqrt{4\pi}}$$

$$Y_{1,0} = \sqrt{\frac{3}{4\pi}} \cos \Theta$$

$$Y_{2,0} = \sqrt{\frac{5}{4\pi}} \left( \frac{3}{2} \cos^2 \Theta - \frac{1}{2} \right)$$

Są to *funkcje matematyczne*  
(Talesa i Pitagorasa)

# Ruchy atomów

- Atomów jest nieskończona liczba i poruszają się zawsze
- Tak! Wrażenie (pojęcie) temperatury jest właśnie przejawem ruchu atomów: im niższa temperatura to ten ruch jest wolniejszy. Ale nawet w zerze absolutnym (0K) atomy się poruszają: ich energia wynosi  $\frac{1}{2} k$  (gdzie  $k$  to tzw. stała Boltzmana)
- „kręcą się jak turbiny (*dinos*) i od czasu do czasu się zderzają. Odbicia (*apopàllestai*), zderzenia (*palmòs*), zbliżenia (*epispasis*) etc. dają aglomeraty, które są ciałami, jakie makroskopowo obserwujemy ”
- Atomy, np. helu, poruszają się tylko ruchem *postępowym*; drobiny H<sub>2</sub>O i CO<sub>2</sub> mogą dodatkowo kręcić się wokół własnych osi. Ta różnica jest „namacalna” – ciepło właściwe (tj. zakumulowane) helu (He) jest mniejsze niż azotu (N<sub>2</sub>) a to zaś mniejsze niż pary wodnej.
- Z czego wynika, m.in. że H<sub>2</sub>O i CO<sub>2</sub> to bardzo efektywne gazy cieplarniane. Inna też jest szybkość propagacji dźwięku w He i N<sub>2</sub> (zależy on też o masy atomowej He i N<sub>2</sub>): głos w He to pisk
- Z kolei różne formy oddziaływań dają różne ciała, jak diament i grafit.



# 118 Atomòw (AD 2018)

## Periodic Table of the Elements

Atomic Number → 13 ← Symbol  
 Name → Aluminium ← Atomic Weight  
 Electrons per shell → 2-8-3 ←

State of matter (color of name)  
 GAS LIQUID SOLID UNKNOWN

Subcategory in the metal-metalloid-nonmetal trend (color of background)  
 Alkali metals Alkaline earth metals Transition metals Lanthanides Actinides Post-transition metals Metalloids Reactive nonmetals Noble gases Unknown chemical properties

1 IA 1 H Hydrogen 1.008 1																	18 VIIIA 2 He Helium 4.0026 2
3 Li Lithium 6.94 2-1	4 IIA 4 Be Beryllium 9.0122 2-2											5 IIIA 5 B Boron 10.81 2-3	6 IVA 6 C Carbon 12.011 2-4	7 VA 7 N Nitrogen 14.007 2-5	8 VIA 8 O Oxygen 15.999 2-6	9 VIIA 9 F Fluorine 18.998 2-7	10 Ne Neon 20.180 2-8
11 Na Sodium 22.98976928 2-8-1	12 Mg Magnesium 24.305 2-8-2	3 IIIB	4 IVB	5 VB	6 VIB	7 VIIB	8 VIII	9 VIII	10 VIII	11 IB	12 IIB	13 Al Aluminium 26.982 2-8-3	14 Si Silicon 28.0855 2-8-4	15 P Phosphorus 30.974 2-8-5	16 S Sulfur 32.06 2-8-6	17 Cl Chlorine 35.45 2-8-7	18 Ar Argon 39.948 2-8-8
19 K Potassium 39.0983 2-8-9-1	20 Ca Calcium 40.078 2-8-9-2	21 Sc Scandium 44.955908 2-8-9-2	22 Ti Titanium 47.867 2-8-9-2	23 V Vanadium 50.9415 2-8-9-2	24 Cr Chromium 51.9961 2-8-9-2	25 Mn Manganese 54.938044 2-8-9-2	26 Fe Iron 55.845 2-8-9-2	27 Co Cobalt 58.933 2-8-9-2	28 Ni Nickel 58.693 2-8-9-2	29 Cu Copper 63.546 2-8-9-2	30 Zn Zinc 65.38 2-8-9-2	31 Ga Gallium 69.723 2-8-9-2	32 Ge Germanium 72.630 2-8-9-2	33 As Arsenic 74.922 2-8-9-2	34 Se Selenium 78.971 2-8-9-2	35 Br Bromine 79.904 2-8-9-2	36 Kr Krypton 83.798 2-8-9-2
37 Rb Rubidium 85.4678 2-8-18-1	38 Sr Strontium 87.62 2-8-18-2	39 Y Yttrium 88.90584 2-8-18-2	40 Zr Zirconium 91.224 2-8-18-2	41 Nb Niobium 92.90637 2-8-18-2	42 Mo Molybdenum 95.95 2-8-18-2	43 Tc Technetium (98) 98 2-8-18-2	44 Ru Ruthenium 101.07 2-8-18-2	45 Rh Rhodium 102.91 2-8-18-2	46 Pd Palladium 106.42 2-8-18-2	47 Ag Silver 107.87 2-8-18-2	48 Cd Cadmium 112.41 2-8-18-2	49 In Indium 114.82 2-8-18-2	50 Sn Tin 118.71 2-8-18-2	51 Sb Antimony 121.76 2-8-18-2	52 Te Tellurium 127.60 2-8-18-2	53 I Iodine 126.90 2-8-18-2	54 Xe Xenon 131.29 2-8-18-2
55 Cs Cesium 132.90545196 2-8-18-3-1	56 Ba Barium 137.327 2-8-18-3-2	57-71 Lanthanides	72 Hf Hafnium 178.49 2-8-18-3-2	73 Ta Tantalum 180.94788 2-8-18-3-2	74 W Tungsten 183.84 2-8-18-3-2	75 Re Rhenium 186.21 2-8-18-3-2	76 Os Osmium 190.23 2-8-18-3-2	77 Ir Iridium 192.22 2-8-18-3-2	78 Pt Platinum 195.08 2-8-18-3-2	79 Au Gold 196.97 2-8-18-3-2	80 Hg Mercury 200.59 2-8-18-3-2	81 Tl Thallium 204.38 2-8-18-3-2	82 Pb Lead 207.2 2-8-18-3-2	83 Bi Bismuth 208.98 2-8-18-3-2	84 Po Polonium (209) 209 2-8-18-3-2	85 At Astatine (210) 210 2-8-18-3-2	86 Rn Radon (222) 222 2-8-18-3-2
87 Fr Francium (223) 2-8-18-3-2	88 Ra Radium (226) 2-8-18-3-2	89-103 Actinides	104 Rf Rutherfordium (261) 2-8-18-3-2	105 Db Dubnium (262) 2-8-18-3-2	106 Sg Seaborgium (263) 2-8-18-3-2	107 Bh Bohrium (264) 2-8-18-3-2	108 Hs Hassium (265) 2-8-18-3-2	109 Mt Meitnerium (266) 2-8-18-3-2	110 Ds Darmstadtium (267) 2-8-18-3-2	111 Rg Roentgenium (268) 2-8-18-3-2	112 Cn Copernicium (269) 2-8-18-3-2	113 Nh Nihonium (270) 2-8-18-3-2	114 Fl Flerovium (271) 2-8-18-3-2	115 Mc Moscovium (272) 2-8-18-3-2	116 Lv Livermorium (273) 2-8-18-3-2	117 Ts Tennessine (274) 2-8-18-3-2	118 Og Oganesson (274) 2-8-18-3-2
57 La Lanthanum 138.91 2-8-18-3-2	58 Ce Cerium 140.12 2-8-18-3-2	59 Pr Praseodymium 140.91 2-8-18-3-2	60 Nd Neodymium 144.24 2-8-18-3-2	61 Pm Promethium (145) 2-8-18-3-2	62 Sm Samarium 150.36 2-8-18-3-2	63 Eu Europium 151.96 2-8-18-3-2	64 Gd Gadolinium 157.25 2-8-18-3-2	65 Tb Terbium 158.93 2-8-18-3-2	66 Dy Dysprosium 162.50 2-8-18-3-2	67 Ho Holmium 164.93 2-8-18-3-2	68 Er Erbium 167.26 2-8-18-3-2	69 Tm Thulium 168.93 2-8-18-3-2	70 Yb Ytterbium 173.05 2-8-18-3-2	71 Lu Lutetium 174.97 2-8-18-3-2			
89 Ac Actinium (227) 2-8-18-3-2	90 Th Thorium 232.04 2-8-18-3-2	91 Pa Protactinium 231.04 2-8-18-3-2	92 U Uranium 238.03 2-8-18-3-2	93 Np Neptunium (237) 2-8-18-3-2	94 Pu Plutonium (244) 2-8-18-3-2	95 Am Americium (243) 2-8-18-3-2	96 Cm Curium (247) 2-8-18-3-2	97 Bk Berkelium (247) 2-8-18-3-2	98 Cf Californium (251) 2-8-18-3-2	99 Es Einsteinium (252) 2-8-18-3-2	100 Fm Fermium (257) 2-8-18-3-2	101 Md Mendelevium (258) 2-8-18-3-2	102 No Nobelium (259) 2-8-18-3-2	103 Lr Lawrencium (260) 2-8-18-3-2			

# Jaka jest przyczyna różnicowania atomów?

**Reguła Pauliego**, zwana też **zakazem Pauliego**, czasem też **zasadą Pauliego** lub **prawem Pauliego** – została zaproponowana przez **Wolfganga Pauliego** w 1925 dla wyjaśnienia zachowania się **fermionów**, czyli cząstek o **spinie** połówkowym. Reguła Pauliego jest szczególnym przypadkiem ogólniejszego **twierdzenia o związku spinu ze statystyką**.

Zakaz Pauliego głosi, że **prawdopodobieństwo** znalezienia w **układzie** fermionów pary cząstek o jednakowych **liczbach kwantowych** jest równe zeru<sup>[1][2]</sup>.

W sformułowaniu szczególnym – jeżeli wśród **stanów** jednocząstkowych  $\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_N$  wystąpią choćby dwa jednakowe stany, np.  $\psi_1 = \psi_2$ , to **wyznacznik Slatera** znika tożsamościowo.

Zakaz Pauliego w sformułowaniu szczególnym stosuje się ściśle do układu jednakowych **fermionów**, które nie oddziałują ze sobą. Dla układu jednakowych fermionów, które z sobą oddziałują, ma znaczenie przybliżone.

Zakaz Pauliego odgrywa ważną rolę przy opisie własności **jąder atomowych** i **atomów**. Stanowi punkt wyjścia dla zasady rozbudowy **powłok elektronowych** oraz wyjaśnienia okresowości konfiguracji elektronowych atomów.

Reguła ta ma wielkie znaczenie w chemii i fizyce atomowej. Szereg fundamentalnych własności **materii** jest jej wynikiem, gdyż materia jest zbudowana właśnie z fermionów, z których najczęściej spotykane to **protony**, **elektrony** i **neutrony**.

Wynikają stąd implikacje:

# „Zakaz Pauliego”

Wynikają stąd implikacje:

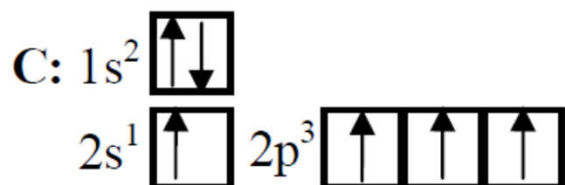
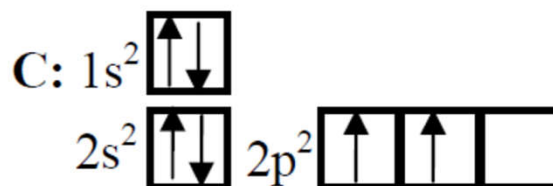
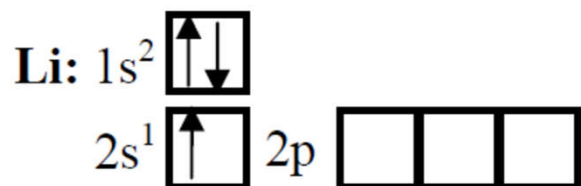
- Tworzenie się struktury orbitalowej poziomów elektronów wszystkich atomów, z której z kolei wynikają wszystkie właściwości chemiczne pierwiastków chemicznych – gdyby reguła Pauliego nie obowiązywała dla elektronów, to wszystkie przebywałyby na orbitalu 1s każdego atomu, gdyż elektrony położone na tym orbitalu mają zawsze niższą energię w porównaniu z elektronami zajmującymi wszystkie inne orbitale; w takiej sytuacji wszystkie pierwiastki zachowywałyby się jak gazy doskonałe i nie byłoby żadnych przemian chemicznych; każdy orbital może jednak zostać obsadzony przez co najwyżej dwa elektrony różniące się spinem, co stanowi podstawowe prawo mające swe odbicie w układzie okresowym pierwiastków;

**Demokryt: atomy różnią się położeniem**

- nieprzenikalność cząsteczek przez siebie nawzajem – na skutek działania reguły Pauliego dwa fermiony nie mogą jednocześnie przebywać w tym samym układzie kwantowym, jeżeli znajdują się w tym samym stanie kwantowym; w wielu przypadkach uniemożliwia to występowanie pewnych konfiguracji przestrzennych orbitali blisko położonych atomów czy cząsteczek; w związku z tym atomy nie mogą przenikać się nawzajem w dowolny sposób, a w momencie zderzenia dwóch atomów dochodzi albo do ich połączenia w związek chemiczny, albo sprężystego odbicia.

**Demokryt: istnieją tylko atomy i próżnia**

H:  $1s^1$   He:  $1s^2$   „Klataczki” chemiczne



**Ryc. 3.10.** Struktura elektronowa atomów opisana przez "orbitale": w wodorze atomowym pojedynczy elektron zajmuje orbital  $1s$ , w helu dwa elektrony zajmują ten sam orbital; w litie trzeci elektron znajduje się na orbitalu  $2s$ ; dwie formy węgla, grafit, z dwoma elektronami na orbitalu  $2p$  lub diamentu, z elektronem  $2s$  i trzema na  $2p$ . ŹRÓDŁO: Autor

Zasada ta nazywana jest "zakazem" (lub zasadą) Pauliego. Przeformułujmy tę zasadę wykluczenia: co najwyżej dwa elektrony (ale o przeciwnych *spinach*) mogą zajmować ten sam orbital.

W dokładnym języku mechaniki kwantowej mówi się: "nie więcej niż jeden elektron może zajmować ten sam element przestrzeni fazowej". Mówiąc najprościej, dwa elektrony unikają się nawzajem, jak dwie kobiety w tej samej sukience na balu noworocznym. Ponieważ? Nie wiemy. Elektron jest mały, lekki, bez wewnętrznej struktury, więc możemy go nazwać "elementarnym". Ale wciąż istnieje wiele innych

# ... Demokryt cd. (AD 1933)

Natomiast teoria atomistyczna Demokryta niewiele różni się od nowoczesnej teorii noszącej to samo miano. Różnice polegają na tym jedynie, że *a)* Demokryt przyjmował, iż rodzaje atomów są w ilości nieograniczonej, podczas gdy nowoczesna teoria sprowadza je do kilkadziesiątu; *b)* Demokryt nie znał grupy atomów, tj. drobin (aczkolwiek mówił już o „atomach podwójnych”), i jego atom spełniał te funkcje, które w nowoczesnej teorii przypadły drobinie; *c)* Demokryt nie znając prawa ciężenia musiał mechanicznie pojmować łączenie się atomów; jego atomy trzymały się wzajemnie przez różne haki, dziurki, odnogi; *d)* dla Demokryta atomy były bytem najrealniejszym i przedmiotem najpewniejszej wiedzy, podczas gdy późniejsza teoria ma je na ogół tylko za hipotezę.

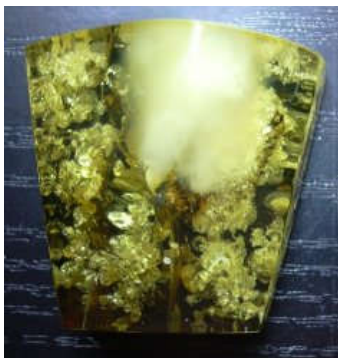
## Demokryt

1. Nieskończenie wiele
2. Atomy to wszystko
3. “haki, dziurki, odnogi”
4. Atom = byt realny

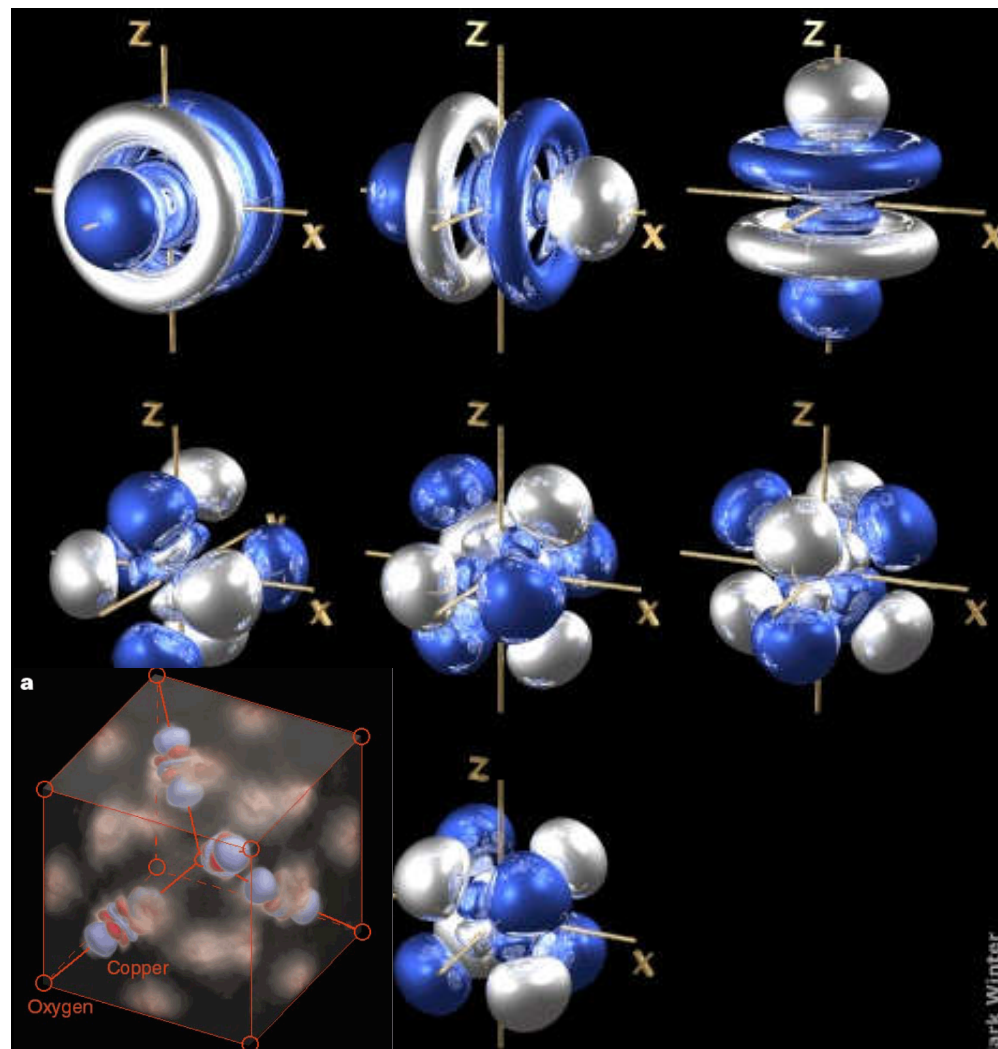
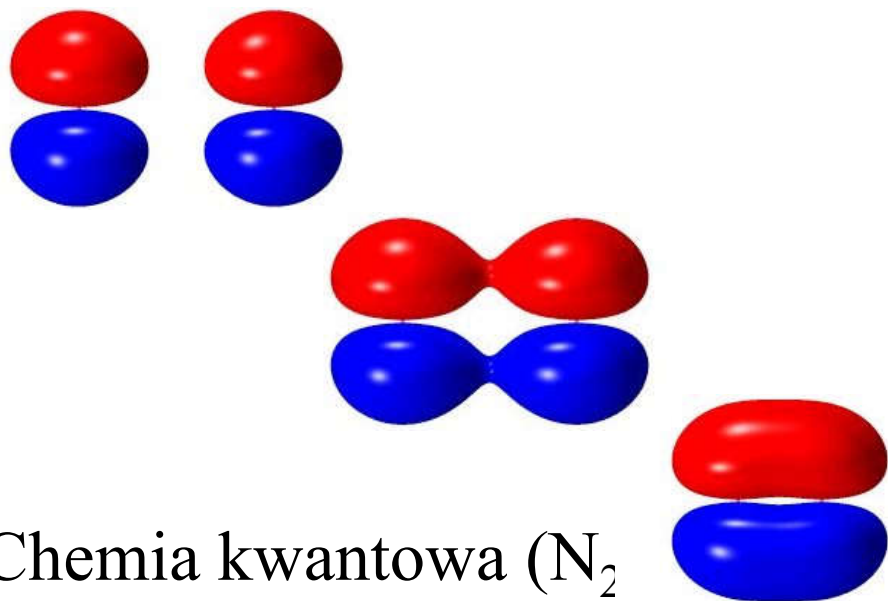
## ”Nowoczesna teoria”

1. ... kilkadziesiąt
2. Drobiny to nie atomy
3. Siła ciężenia
4. ... tylko hipoteza

# Związki chemiczne: haki, odnogi, dziurki



Elektron, czyli bursztyn:  
najmniejsza, niepodzielna część  
materii (1/1838 atomu H)



Orbitale, 3d 4f

<http://www.shef.ac.uk/chemistry/orbitron/>

# Naprawdę nie-podzielny?

## Podzielić niepodzielny

*W 1897 roku, razem z "odkryciem" elektronu, pojawia się promieniotwórczość - atom ma składniki!*

Pracowita doktorantka



*Kandydatki nauk*

## Ścieżki na bezdrożu



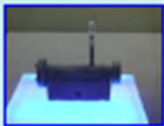
*Oryginalne przyrządy pomiarowe małżeństwa Joliot-Curie do badania promieniotwórczości sztucznej  
[[Science Museum, Londyn](#)]*

[https://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy\\_archiwum/z\\_omegi/index-pl.html](https://dydaktyka.fizyka.umk.pl/Wystawy_archiwum/z_omegi/index-pl.html)

Łut szczęścia



*Replika aparatury Rutherforda, za pomocą której wykazał, że cząstki alfa to jądra helu. Kopia wykonana w Cambridge w 1998  
der Technic, [Deutsche Museum, Monachium](#)]*



*Przyrządy Chadwicka, do badania neutronów [[Deutsche Museum, Monachium](#)]*

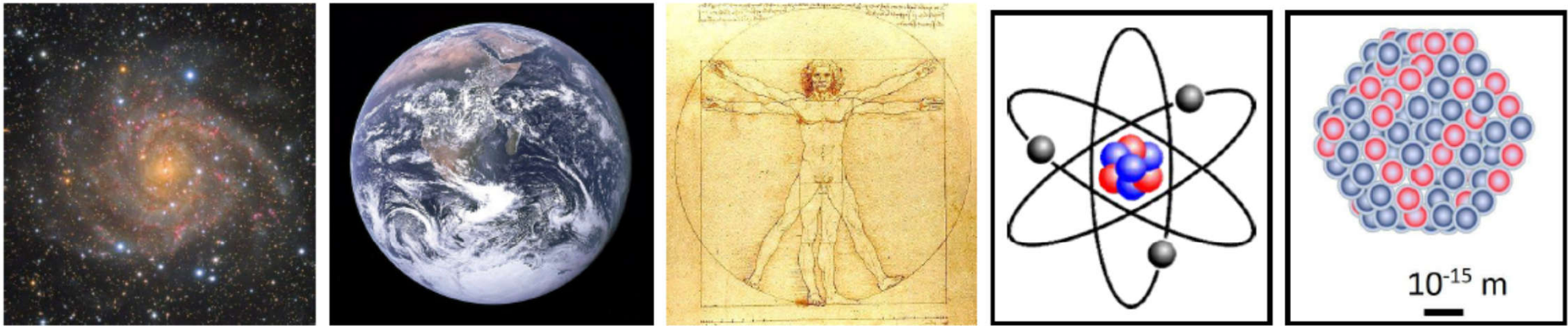
Fermi i złote rybki

Kulki na piasku



*Komora Wilsona, do badania śladów cząstek [[Science Museum, Londyn](#)]*

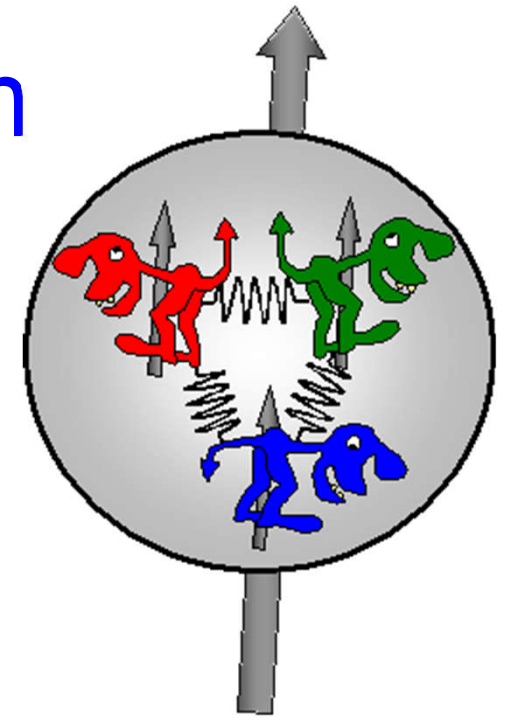
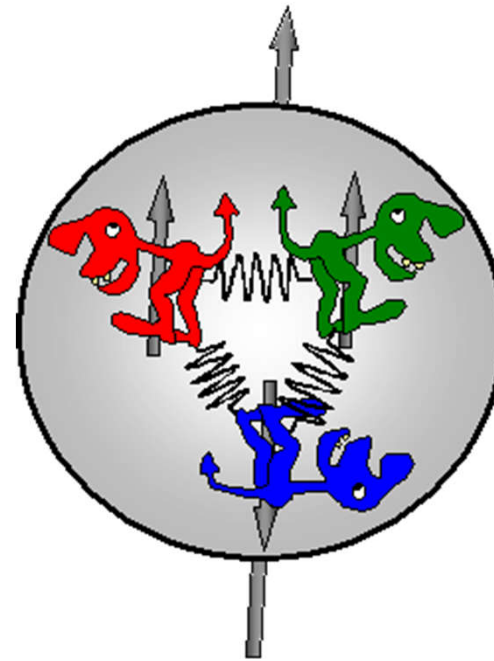
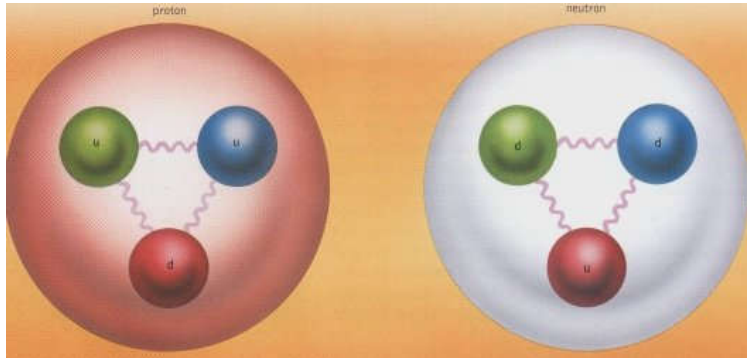
# Atom: czyżby najmniejszy?



**Ryc. 3.1.** Wysokość człowieka (1,7 metra), znajduje się "pośrodku" między średnicą Ziemi  $1,3 \times 10^7$  m, fot. Apollo 17 i naszą Galaktyką ( $1,2 \times 10^{21}$  m, tutaj zdjęcie galaktyki IC342) z jednej strony, a atomem ( $1,1 \times 10^{-10}$ ) i składnikami jego jądra (około  $10^{-15}$  m) z drugiej. Słońce (ze wszystkimi planetami) jest częścią gigantycznej drożdżówki o średnicy około 130 tysięcy lat świetlnych. To nasza "Galaktyka", w greckiej Drodze Mlecznej, sto miliardów gwiazd, które nas otaczają. Ale Droga Mleczna jest jedną ze 100 miliardów podobnych galaktyk. Wszechświat dostępny dla naszej wiedzy ma promień 13,78 miliarda lat świetlnych. W metrach daje to  $1,3 \times 10^{26}$  m. ŹRÓDŁO: a) D. WOS; b) NASA, Apollo 17 Crew; (c) Wikipedia, rys. Leonardo da Vinci, Da\_Vinci\_Vitruve\_Luc\_Viatour.jpg; (d) [https://en.wikiquote.org/wiki/Atomic\\_theory](https://en.wikiquote.org/wiki/Atomic_theory), (e) rys. T. WRÓBLEWSKI.



# Jądro atomu: proton i neutron



## **Proton (uud)**

Izospin=1/2

Masa  $m=938.27231 \pm 0.00028$  MeV

Czas życia  $1,6 \cdot 10^{25}$  lat

## **Neutron (udd)**

Izospin=1/2

Masa  $m=939.56563 \pm 0.00028$  MeV

Czas życia  $t=888,65 \pm 3,5$  s (= kwadrans akademicki !)

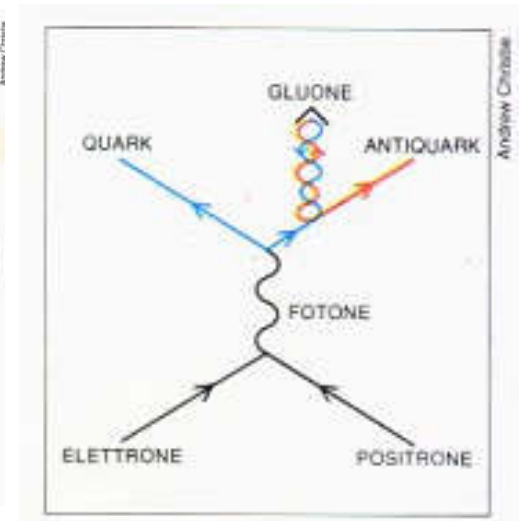
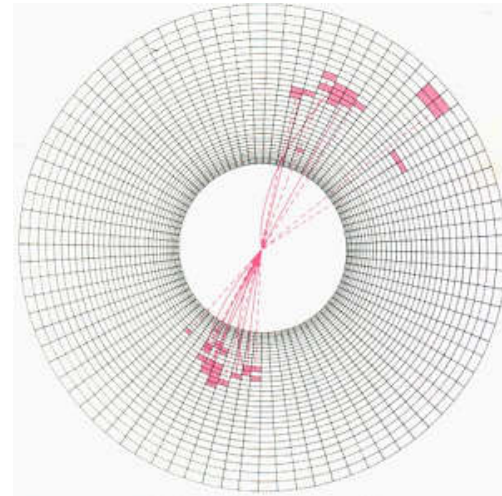
# Trzy kwarki dla kròła Marka

## Gell-Man (1963) hipoteza kwarków

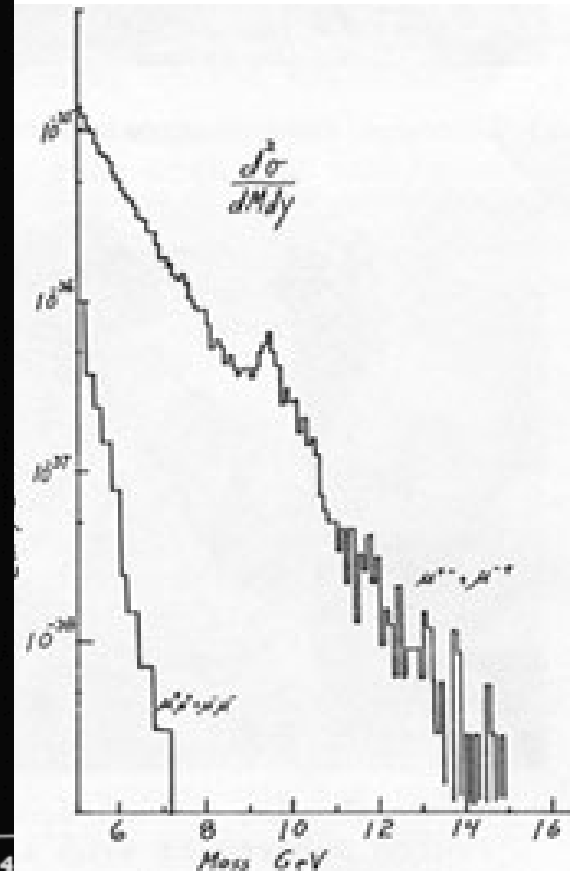
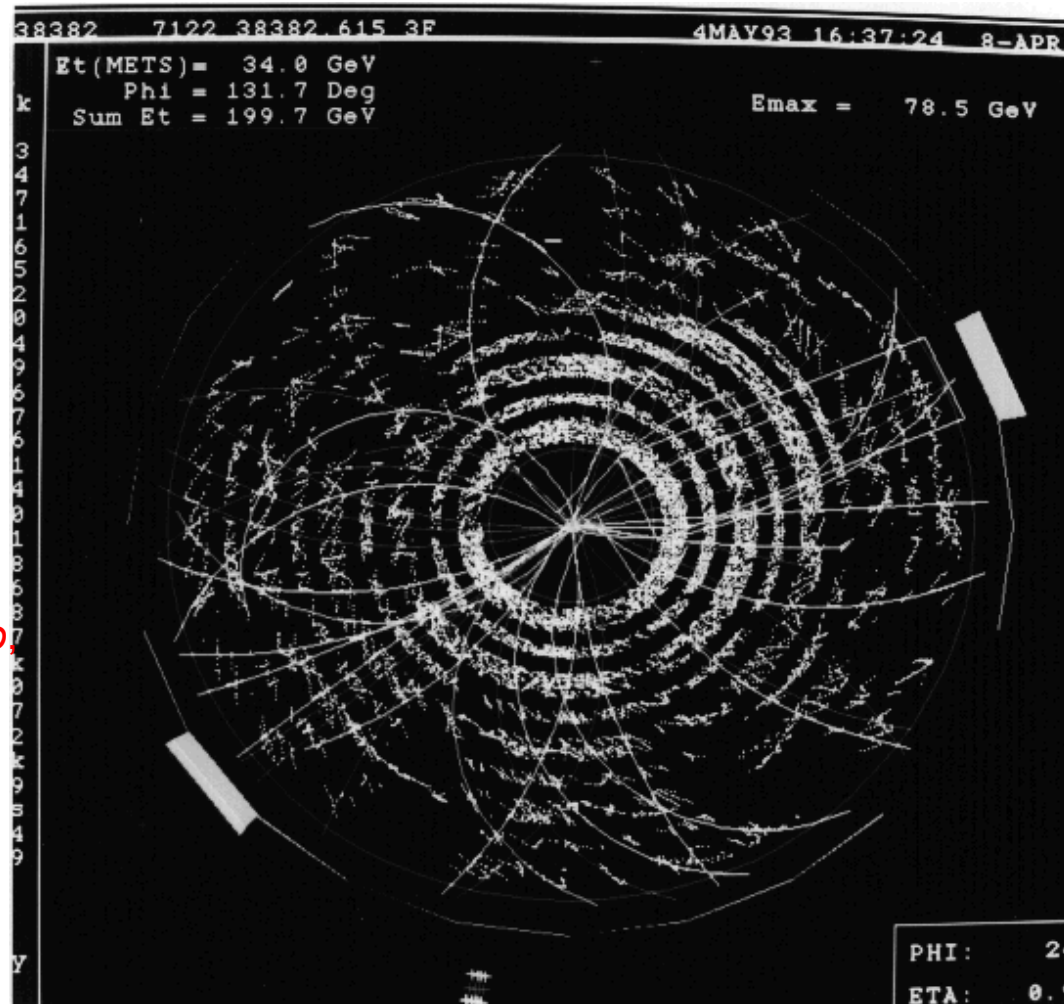
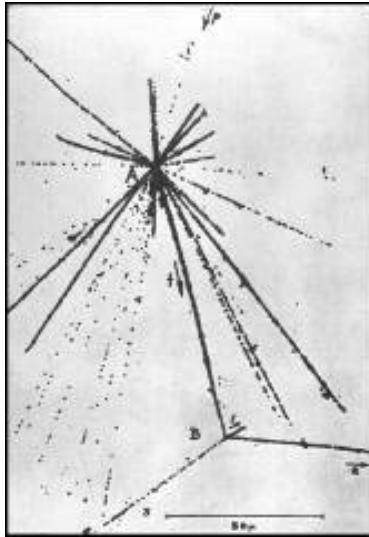
Tak na dobrą sprawę, to nie wiadomo, o co Joyce'owi chodzi w "Finnegans Wake":

- *Three **quarks** for Muster Mark!  
Sure he hasn't got much of a bark  
And sure any he has it's all beside  
the mark.*

**bark** - 1) szczekanie 2) kora drzewa  
**mark** - 1) znak, 2) ocena  
**quark** - 1) przydział dla Marka Mustera w "Finnegans Wake"



# Elementarne? Jest jeden problem

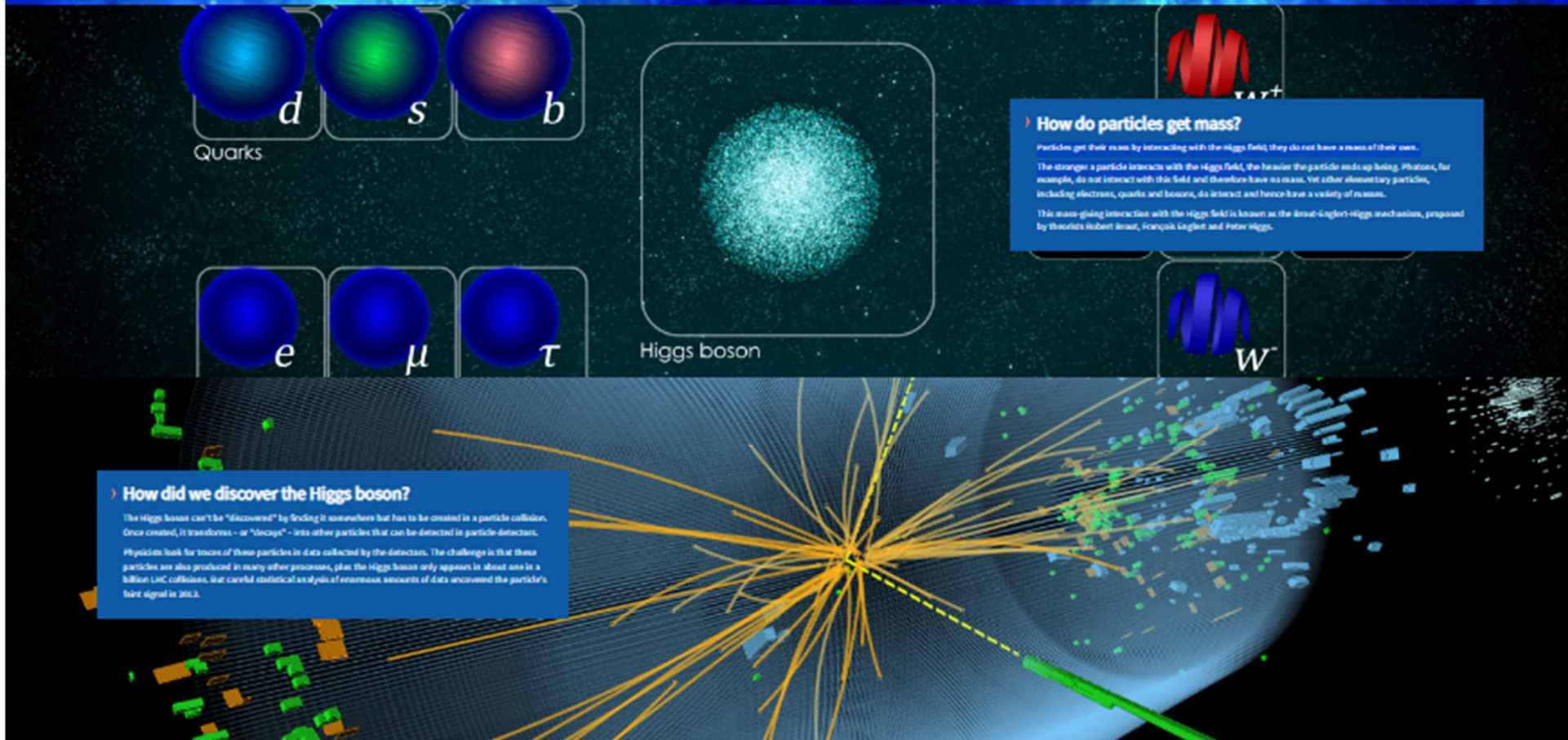


Odkrycie kwarku *dziwnego*,  
Danysz i Pniewski, 1956

Odkrycie kwarku *bottom*, FermiLab, Chicago

# Składniki? Jest jeden problem

<https://home.cern/science/physics/higgs-boson>



**Od czasów Einsteina ( $E=mc^2$ ) wszystko może powstać ze wszystkiego\*:  
Nawet cięższe z lżejszego. oknm Pojęcie „składnika” traci sens**

\*Oczywiście, z zachowaniem pewnych (licznych) reguł fizyki.

# Standard Model of FUNDAMENTAL PARTICLES AND INTERACTIONS

The Standard Model summarizes the current knowledge in Particle Physics. It is the quantum theory that includes the theory of strong interactions (quantum chromodynamics or QCD) and the unified theory of electromagnetic and electroweak interactions (electroweak). Gravity is included on this chart because it is one of the fundamental interactions, even though not part of the "Standard Model".

## "Dziwny jest ten świat"

### FERMIONS

Leptons spin = 1/2		
Flavor	Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge
$\nu_e$ electron neutrino	<1·10 <sup>-6</sup>	0
e electron	0.000511	-1
$\nu_\mu$ muon neutrino	<0.0002	0
$\mu$ muon	0.106	-1
$\nu_\tau$ tau neutrino	<0.02	0
$\tau$ tau	1.7771	-1

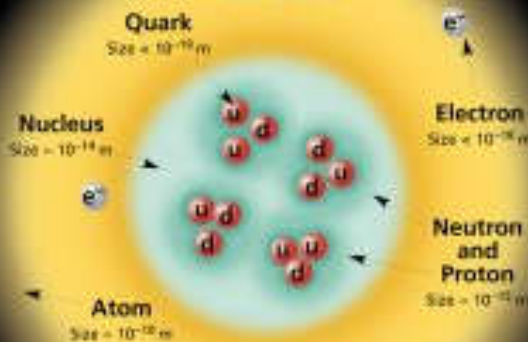
Quarks spin = 1/2		
Flavor	Approx. Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge
u up	0.003	2/3
d down	0.006	-1/3
c charm	1.3	2/3
s strange	0.1	-1/3
t top	175	2/3
b bottom	4.3	-1/3

Spin is the intrinsic angular momentum of particles. Spin is given in units of  $\hbar$ , which is the quantum unit of angular momentum, where  $\hbar = h/2\pi = 6.58 \cdot 10^{-22}$  GeV s =  $1.05 \cdot 10^{-34}$  J s.

Electric charges are given in units of the proton's charge, or SI units the electric charge of the proton is  $1.6 \cdot 10^{-19}$  coulombs.

The energy of a particle is given in units of GeV. The energy of a particle is given in units of GeV. The energy of a particle is given in units of GeV. The energy of a particle is given in units of GeV.

### Structure within the Atom



If the protons and neutrons in this picture were 10 cm across, then the quarks and electrons would be less than 5.1 mic in size and the entire atom would be about 10 km across.

### BOSONS

Unified Electroweak spin = 1		
Name	Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge
$\gamma$ photon	0	0
$W^-$	80.4	-1
$W^+$	80.4	+1
$Z^0$	91.187	0

### force carriers spin = 0, 1, 2, ...

Strong (color) spin = 1		
Name	Mass GeV/c <sup>2</sup>	Electric charge
g gluon	0	0

**Color Charge**  
Each quark carries one of three types of "flavor charge," also called "color charge." These charges have nothing to do with the colors of visible light. There are eight possible types of color charge for gluons, just as electrically-charged particles interact by exchanging photons, in strong interactions color-charged particles interact by exchanging gluons. Leptons, photons, and  $W$  and  $Z$  bosons have no strong interactions and hence no color charge.

**Quarks Confined in Mesons and Baryons**  
One cannot isolate quarks and gluons; they are confined in color-neutral particles called hadrons. This confinement (binding) results from multiple exchanges of gluons among the color-charged constituents. As color-charged particles (quarks and gluons) move apart, the energy in the color-force field between them increases. This energy eventually is converted into additional quark-antiquark pairs (see figure below). The quarks and antiquarks then combine into hadrons. There are five particles seen to emerge. Two types of hadrons have been observed in nature: mesons and baryons only.

**Strong Interaction**  
The strong interaction is the force that binds quarks together. It is the force that binds quarks together. It is the force that binds quarks together. It is the force that binds quarks together.

## "Na początku było Słowo (Logos)"

### PROPERTIES OF THE INTERACTIONS

Baryons qqq and Antibaryons $\bar{q}\bar{q}\bar{q}$					
Baryons are fermionic hadrons. There are about 100 types of baryons.					
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass (GeV/c <sup>2</sup> )	Spin
p	proton	uud	1	0.938	1/2
$\bar{p}$	anti-proton	$\bar{u}\bar{u}\bar{d}$	-1	0.938	1/2
n	neutron	udd	0	0.940	1/2
$\Lambda$	lambda	uds	0	1.116	1/2
$\Omega^-$	omega	sss	-1	1.672	3/2

Property \ Interaction	Gravitational	Weak (Electroweak)	Electromagnetic	Strong	
				Fundamental	Residual
Acts on:	Mass - Energy	Flavor	Electric Charge	Color Charge	See Residual Strong Interaction below
Particles experiencing:	All	Quarks, Leptons	Electrically charged	Quarks, Gluons	Hadrons
Particles mediating:	Graviton (not yet observed)	$W^+$ $W^-$ $Z^0$	$\gamma$	Gluons	Mesons
Strength (relative to electromag. at $10^{-16}$ m):	$10^{-41}$	0.3	1	25	Not applicable to quarks
for two u quarks at:	$10^{-41}$	$10^{-4}$	1	60	Not applicable to quarks
for two protons in nucleus:	$10^{-36}$	$10^{-7}$	1	Not applicable to hadrons	20

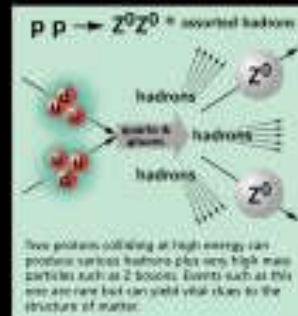
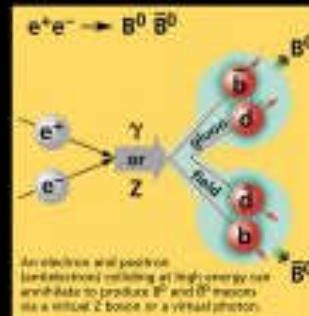
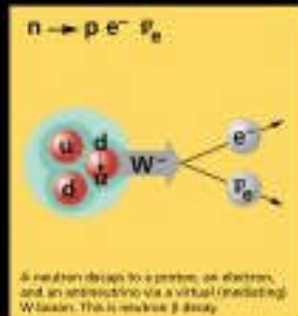
Mesons qq					
Mesons are bosonic hadrons. There are about 100 types of mesons.					
Symbol	Name	Quark content	Electric charge	Mass (GeV/c <sup>2</sup> )	Spin
$\pi^+$	pion	$u\bar{d}$	+1	0.140	0
$K^-$	kaon	$s\bar{u}$	-1	0.494	0
$\rho^+$	rho	$u\bar{d}$	+1	0.776	1
$B^0$	B-meson	$d\bar{b}$	0	5.279	0
$\eta_c$	eta-c	$c\bar{c}$	0	2.966	0

### Matter and Antimatter

For every particle type there is a corresponding antiparticle type, denoted by a bar over the particle symbol (unless + or - charge is shown). Particle and antiparticle have identical mass and spin but opposite charges. Some electrically neutral bosons (eg.  $Z^0$ ,  $\gamma$ , and  $\eta_c = c\bar{c}$ , but not  $K^0 = d\bar{s}$ ) are their own antiparticles.

### Figures

These diagrams are an artist's conception of physical processes. They are not exact and have no meaningful scale. Green shaded areas represent the cloud of gluons or the gluon field, and red lines the quark paths.



The Particle Adventure  
Visit the award-winning web feature The Particle Adventure at <http://ParticleAdventure.org>

This chart has been made possible by the generous support of:  
U.S. Department of Energy  
U.S. National Science Foundation  
Lawrence Berkeley National Laboratory  
Stanford Linear Accelerator Center  
American Physical Society, Division of Particle and Field  
**BURLE INDUSTRIES, INC.**

©2000 Contemporary Physics Education Project, CPEP is a non-profit organization of teachers, physicists, and educators. Send mail to: CPEP, MS 50-308, Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley, CA, 94720. For information on charts, text materials, hand-on classroom activities, and workshops, see:

<http://CPEPweb.org>

# Kwark i jego rodzina ...

1

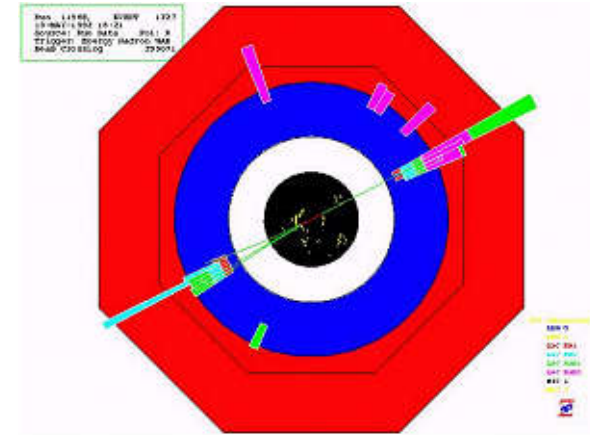
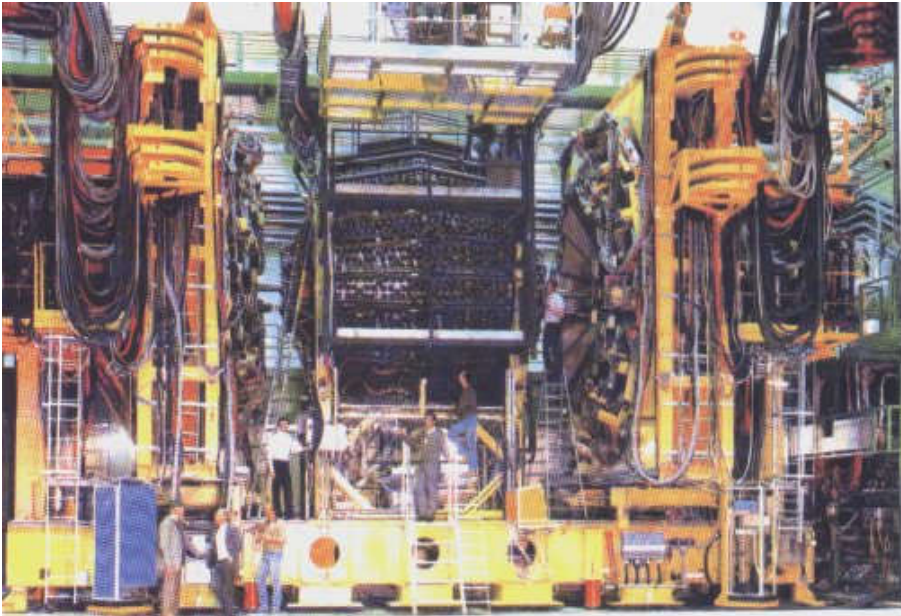


# Cząstki elementarne, jak królik z kapelusza

$$e^- + e^+ \rightarrow \tau + \dots$$

Większe „składa się” z mniejszego:

$$0.5 + 0.5 = 1764 + \dots$$



lepton tau

W. Góral, MON 1978

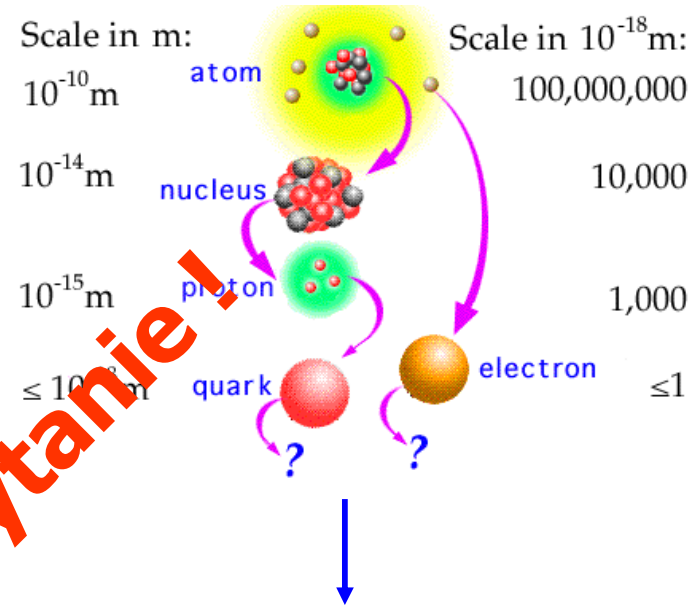
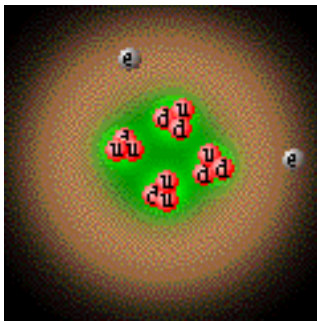
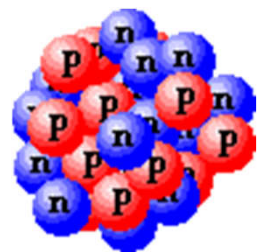
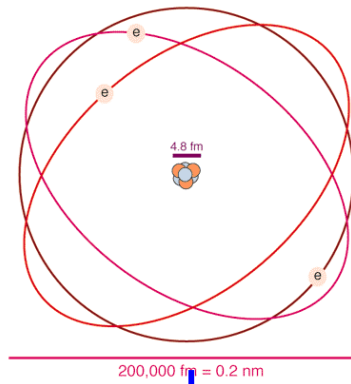


**Einstein:  $E = mc^2$**

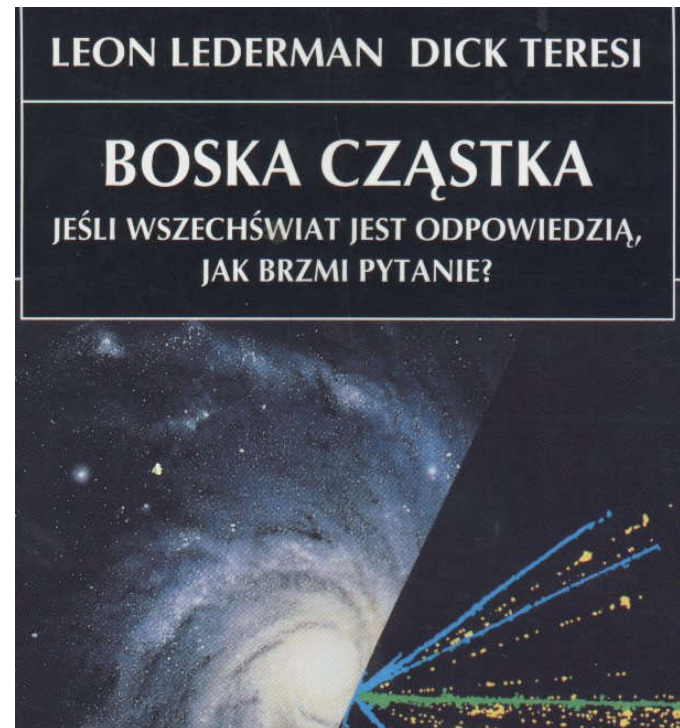
**Od czasów Einsteina ( $E=mc^2$ ) wszystko może powstać ze wszystkiego\*:  
Nawet cięższe z lżejszego. Pojęcie „składnika” traci sens**

\*Oczywiście, z zachowaniem pewnych (licznych) reguł fizyki.

# Nie-podzielny ?



**źle postawione pytanie!**



**Boson Higgsa**



Wniosek? Masa każdej cząstki elementarnej wskutek spotkania z jej antycząstką może zamienić się w energię. Tego rodzaju procesami rządzi *prawo równoważności* masy i energii, które w 1905 roku sformułował Albert Einstein:

$$E=m \cdot c^2$$

## Materia czy energia?

gdzie  $E$  jest miarą energii,  $m$  masy cząstki, a  $c$  jest prędkością światła. Nie tylko masa elektronu i pozytonu może zamienić się w energię błysku promieniowania gamma. Także promieniowanie gamma o dostatecznie dużej energii może, wyhamowane, wykreować parę cząstka–antycząstka, na przykład elektron–pozyton. Od czasów Alberta Einsteina jest więc bezpieczniej nazywać *materią* wszystko to, co uda się *zmierzyć* metodami fizyki. Materią jest zarówno elektron (kreślący obraz na ekranie telewizora), jak i fala elektromagnetyczna (nie posiadająca masy i rozchodząca się w próżni) przesyłana z nadajnika do telewizora, a niosąca zapis obrazu i dźwięku.



**Fot. 1.8.** Fizyka zajmuje się *materią*. Materią jest kawałek skały granitu, jest nią (przezroczyste) powietrze, napędzające kolorowy wiatraczek, jest nią *fala radiowa*, niosąca zapis obrazu telewizyjnego (na zdjęciu antena radiowa), jest nią również nieznaną nam formą materii, wypełniająca Wszechświat, zwana *ciemną* materią. O tej ostatniej wiemy, że istnieje, bo tak wynika z danych doświadczalnych i obliczeń, ale dziś (w 2010 r.) nie potrafimy jej jeszcze w żaden sposób zaobserwować

# Epikur (z Samos, 341-271 p.n.e.)

- **Lód** powstaje dlatego, że woda wyrzuca okrągłe elementy, a nieregularne łączą się z kanciastymi, które się w nim znajdują, lub też dlatego, że pierwiastki o takiej budowie są dodawane z zewnątrz, aby po skupieniu określić zestalenie się wody, po wydaleniu pewnej ilości okrągłych elementów.
- **Tęcza** powstaje w wyniku świecenia słońca w wilgotnym powietrzu [...] Kolisty kształt obrazu wynika z tego, że odległość tęczy jest postrzegana przez nasz wzrok jako równa ze wszystkich stron, lub z tego, że atomy zawarte w powietrzu lub w chmurach łączą się pod naporem samego powietrza i to ich skupienie przybiera okrągły kształt. [1]
- Oczywiście, oba opisy są zupełnie błędne z punktu widzenia elementarnej wiedzy naukowej.
- Ale Epikur pisał również o szczęściu – przez które rozumiał „rozsądne, mądre i prawe życie” a nie pogoń za przyjemnościami. [2]

[1] Epicuro, *Lettere. Sulla fisica, sul cielo e sulla felicità*. Fabbri editori, Milano 1996, *Lettera a Pitocle*, str. 103. [2] Introduzione Nicoletta Rusello, str. 44.

# Św. Tomasz z Akwinu: Zróżnicowanie materii

## ***71. Przyczyną zróżnicowania rzeczy nie jest zróżnicowanie materii***

Jasno też wynika z powyższego, że przyczyną zróżnicowania rzeczy nie jest zróżnicowanie materii. [...] Zatem materia nie jest przyczyną zróżnicowania w rzeczach, jakie Bóg stworzył. [...]

Otóż formy nie mają istnienia ze względu na materię, lecz raczej materie ze względu na formy.

Zatem również formy [orbitale elektronowe] nie dlatego są zróżnicowane, że materie są zróżnicowane, lecz raczej dlatego zostały utworzone zróżnicowane materie, aby odpowiadały zróżnicowanym formom.

*Compendium Theologiae*, art. 71

Gdyby elektrony nie podlegały „zakazowi Pauliego”, a zachowywały się jak cząstki światła (fotony, w wiązce lasera. Byłyby wszystkie identyczne, stłoczone jak pingwiny na lodzie.

Nie byłoby żadnej chemii ani biologii, ani życia, ani tego wykładu...

# Podsumowanie

- Oczywiście, w wizji Człowieka, jako fenomenu umysłu (czyli świata nieśmiertelnego) traktujemy Demokryta (i innych filozofów) z całym szacunkiem: dysponując ograniczonymi danymi doświadczalnymi, całkiem nieźle radzili sobie ze złożonymi zagadnieniami filozofii przyrody.
- Dziś, zagadnienia atomowe pozostawiamy specjalistom fizykom, chemikom, biologom
- Co nie oznacza, że niektóre z zagadnień, np. „zakaz Pauliego”, który wymusza zasadniczą różnicę własności chemicznych, fizycznych (i biologicznych) między atomem neonu (10 elektronów, gaz chemicznie nieaktywny) a sodem (11 elektronów, jeden z metali najbardziej reaktywnych), jest nadal „postulatem”, mocno, mocno metafizycznym

Dziękuję za uwagę!