

„Współczesne kontrowersje wokół początków człowieka”, 23-25.11.2005

Fizyczne warunki zaistnienia człowieka we Wszechświecie - zasady antropiczne

Grzegorz Wrochna

Instytut Problemów Jądrowych im. A. Sołtana

Warszawa / Świerk

wrochna@fuw.edu.pl

Fizyka a początki człowieka

Ks. prof. M.Heller odpowiadając na argument biologa, że Bóg jest niepotrzebny, bo całą biologię można sprowadzić do procesów fizycznych rzekł:

„Wy biolodzy macie łatwe zadanie, bo wystarczy, że wszystko sprowadzicie do procesów fizycznych. Ale co my fizycy mamy zrobić?”

Aby człowiek mógł zaistnieć, prawa fizyki muszą mieć bardzo specyficzny kształt, a stałe fizyczne – precyzyjnie dobrane wartości.

... i takie mają!

Dlaczego?!

Fizyka w 2 minuty

We Wszechświecie występują 4 rodzaje sił:

grawitacyjne – spadanie, planety, galaktyki

elektromagnetyczne – atomy, cząsteczki, tarcie, sprężystość, światło

jądrowe słabe – źródło energii gwiazd (Słońca)

jądrowe silne – wiąże protony i neutrony w jądra atomowe

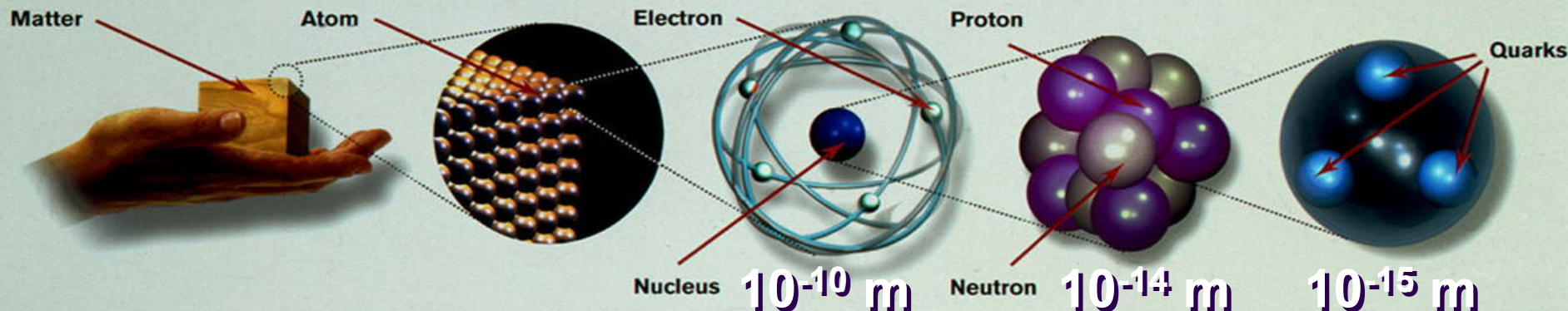
Struktura materii:

cząsteczki
atomy

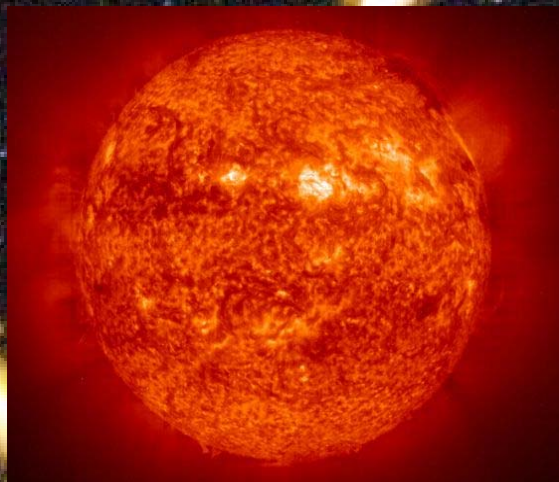
jądra
elektrony

protony
neutrony

kwarki
gluony



Astronomia w minutę



Skale odległości w jednostkach świetlnych:

Ziemia – Księżyc

1 s

Ziemia – Słońce

8 min

krańce Układu Słonecznego

11 h

najbliższa Słońcu gwiazda

4 lata

średnica Galaktyki

100 000 lat

odl. do gal. w Andromedzie

2.5 mln lat

widzialny Wszechświat

15 mld lat

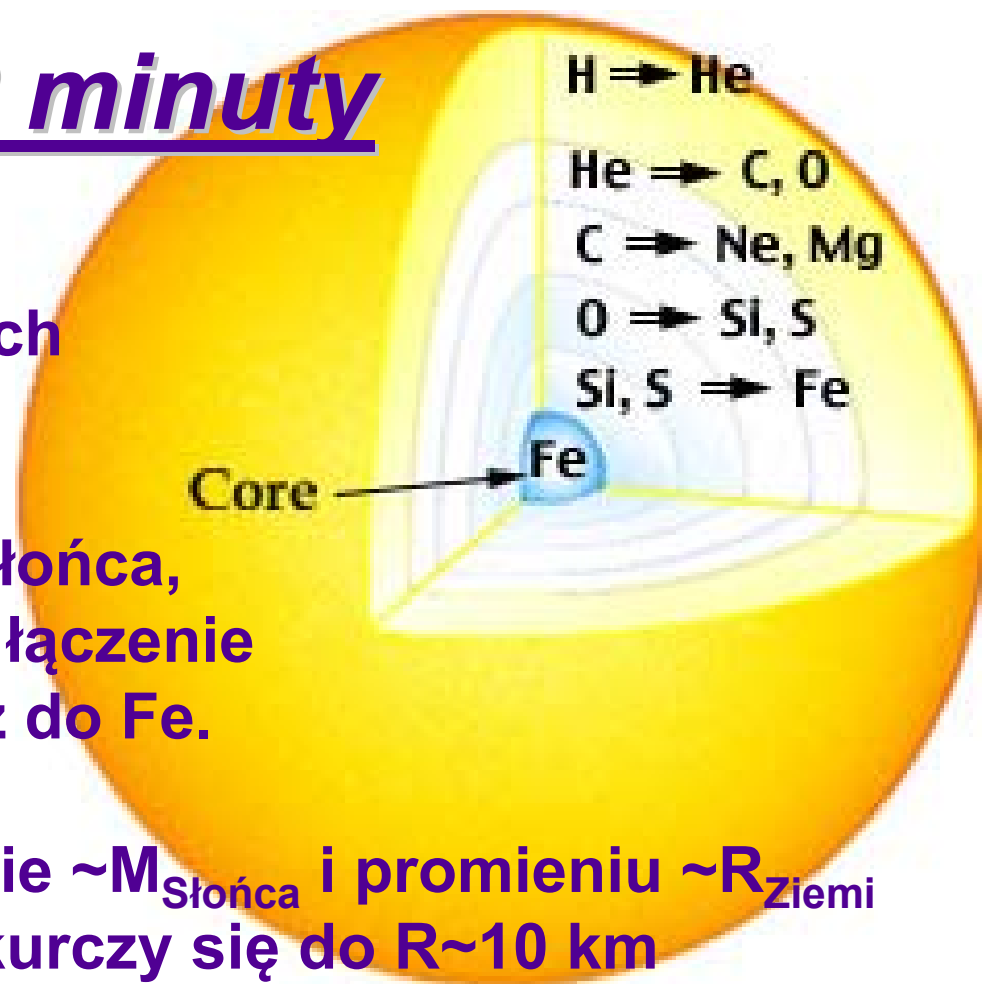
Astrofizyka w 2 minuty

Gwiazda czerpie energię z procesów termojądrowych łączenia atomów H w He.

Jeśli jest $>8x$ cięższa od Słońca, to po zużyciu H następuje łączenie cięższych pierwiastków aż do Fe.

Nagle żelazne jądro o masie $\sim M_{\text{Słońca}}$ i promieniu $\sim R_{\text{Ziemi}}$ w ciągu ułamka sekundy kurczy się do $R \sim 10$ km tworząc gwiazdę neutronową.

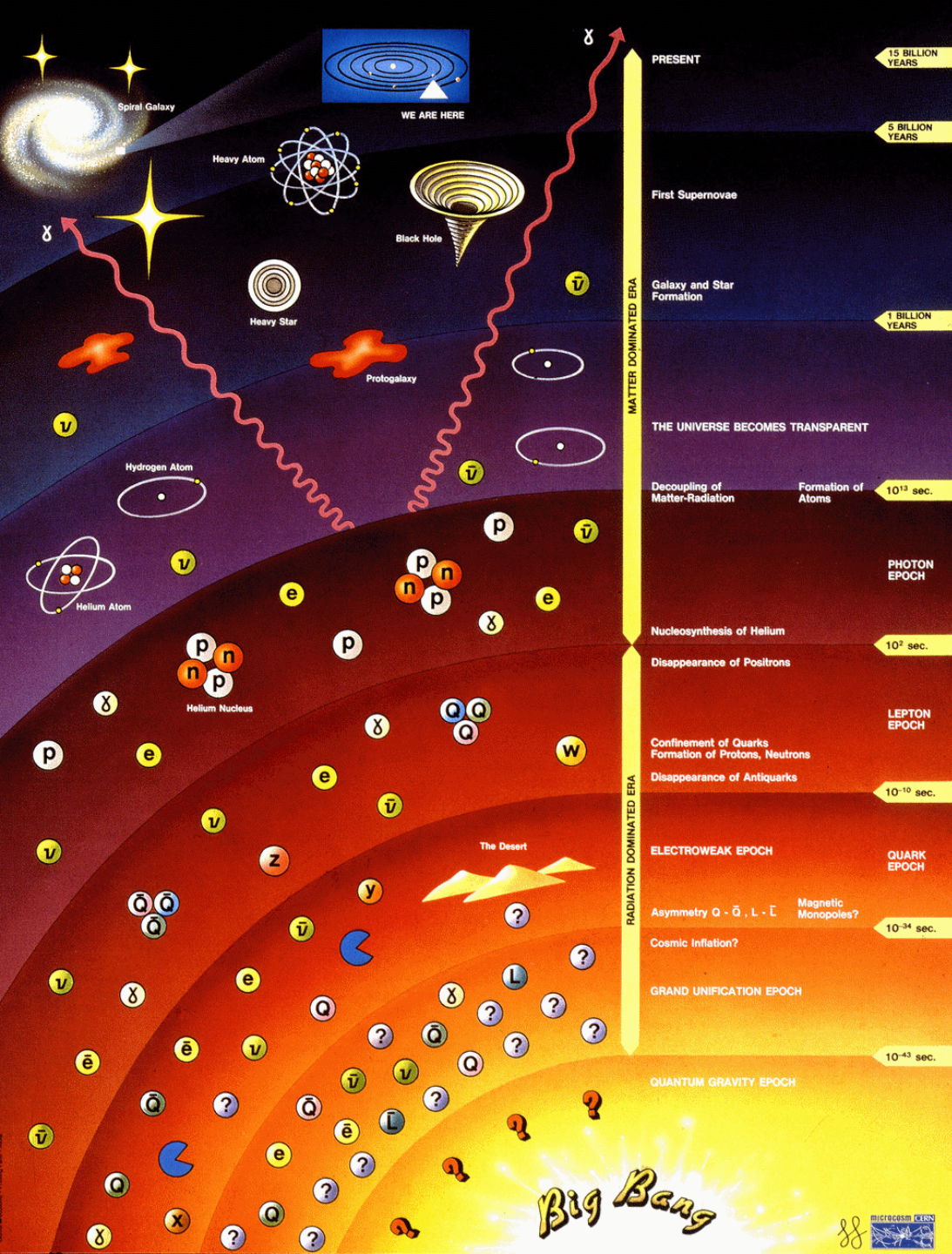
Gwałtowny wybuch widoczny jest jako supernowa. Odrzucona otoczka rozsiewa ciężkie pierwiastki wytworzone w wybuchu.



Gwiazdy supernowe



Wybuchy supernowych to jedyne źródło ciężkich pierwiastków



14 mld lat – człowiek
10 mld lat – Ziemia

200 mln lat – galaktyki

380 000 lat – atomy

3 minuty – jądra He

miliardowa s – protony

??? - kwarki

??? - ???

0 - ?!

**Kosmologia
w 3 minuty**

Odtwarzanie ewolucji Wszechświata

Przepis na ciasto zwane Wszechświatem jest dość prosty.

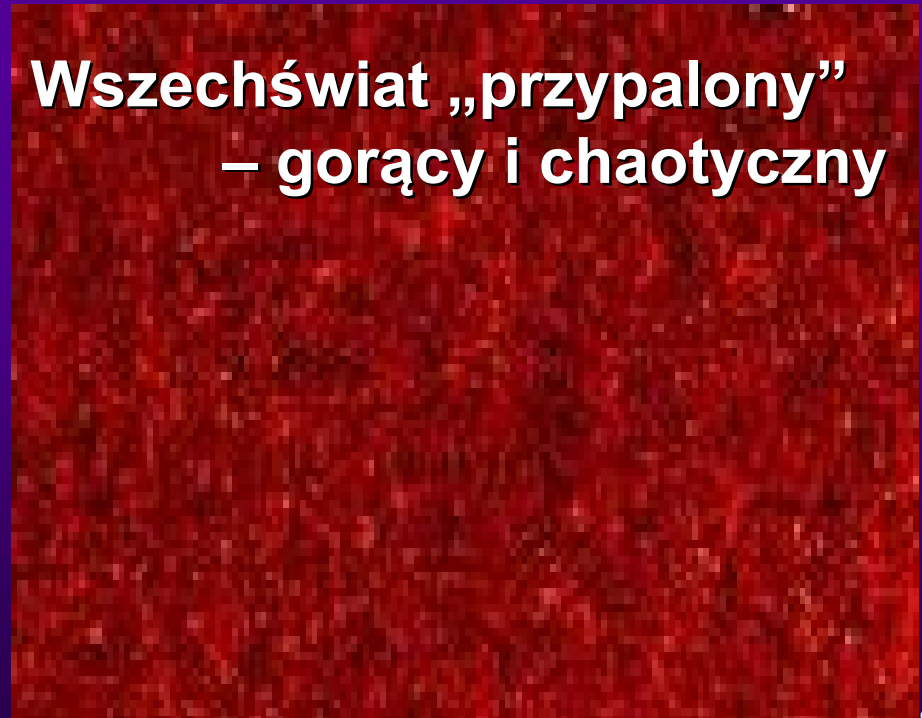
**Ale nie wystarczy wymieszać leptonów z fotonami,
dorzucić trochę kwarków i włożyć do pieca grawitacji.**

Trzeba precyzyjnie dobrać składniki, bo uzyskamy

**Wszechświat „zakalec”
– zimny i pusty**



**Wszechświat „przypalony”
– gorący i chaotyczny**



Siła grawitacji

Grawitacja jest $10^{39} \times$ słabsza
od elektromagnetyzmu

Gdyby była nieco słabsza:

- gwiazdy byłyby lżejsze od Słońca
 - ⇒ nie wybuchałyby supernowe
 - ⇒ nie powstałyby ciężkie pierwiastki

Gdyby była nieco silniejsza:

- twory większe od bakterii byłyby zmiażdżone
- gwiazdy często by się zderzały niszcząc planety
- gwiazdy spalałyby się zbyt szybko

Gęstość Wszechświata ρ

$\Omega = \rho/\rho_c$, gdzie ρ_c – gęstość krytyczna,

$\Omega < 1 \Rightarrow$ Wszechświat zawsze będzie się rozszerzał

$\Omega > 1 \Rightarrow$ Wszechświat zacznie się kurczyć

Pomiary pokazują, że dziś $\Omega \approx 1$

Gdyby Ω zbyt duże $\Rightarrow$ Wszechświat żyłby zbyt krótko

Gdyby Ω zbyt małe $\Rightarrow$ materia szybko rozproszyłaby się, nie tworząc galaktyk ani gwiazd

Wymagana precyzja w czasie Wielkiego Wybuchu:

$$\Omega = 1 \pm 10^{-60}$$

Stała kosmologiczna Λ

Λ – stała określająca „odpychanie” próżni

Obecne pomiary: $\Lambda = 0.7$

Przewidywania teoretyczne: $\Lambda = 10^{120}$

Największa rozbieżność w historii nauki!

Nie rozumiemy dlaczego Λ jest tak mała

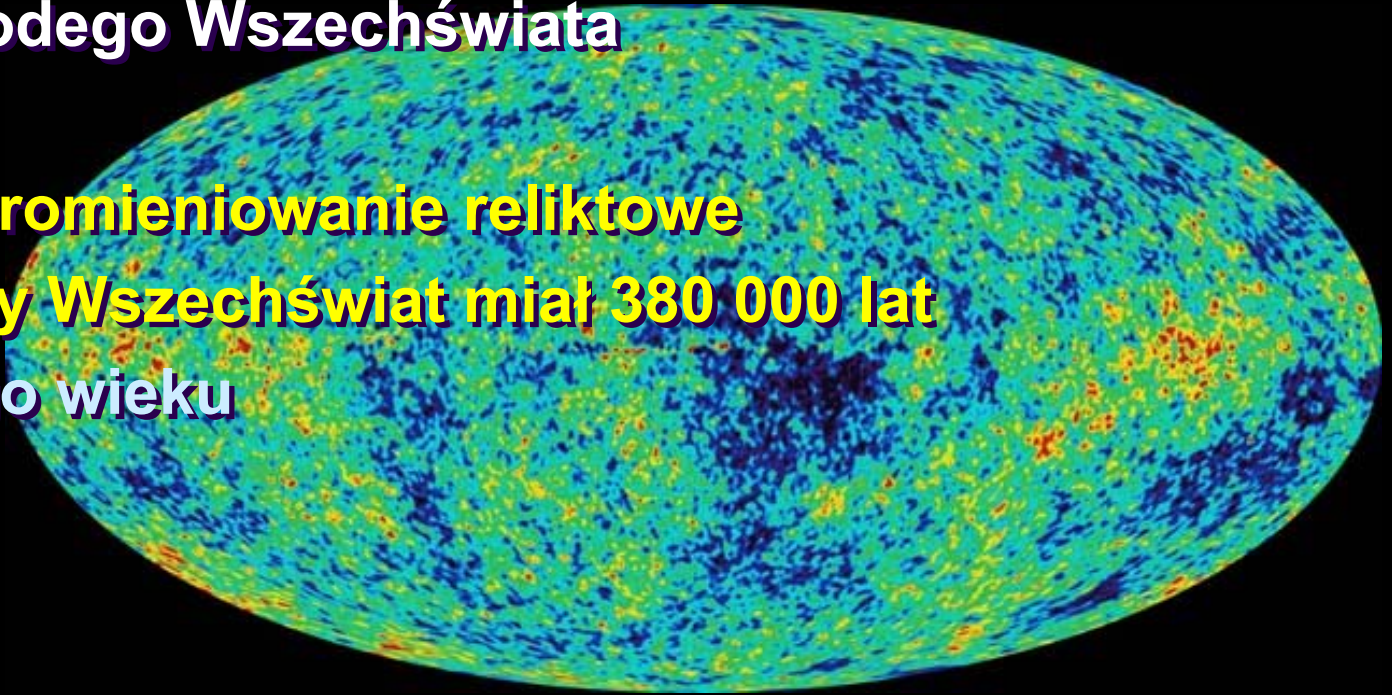
Gdyby Λ była większa

⇒ materia szybko rozproszyłaby się,
nie tworząc galaktyk ani gwiazd

Niejednorodności początkowe

Fotografia młodego Wszechświata

Mikrofalowe promieniowanie reliktowe
powstało kiedy Wszechświat miał 380 000 lat
< 3% obecnego wieku



Obserwowane niejednorodności: 10^{-5}

Dały początek galaktykom

Gdyby były mniejsze $\Rightarrow$ galaktyki by nie powstały

Gdyby były większe $\Rightarrow$ zamiast galaktyk powstałyby
gigantyczne czarne dziury

Łamanie symetrii CP

Symetria P = zamiana lewo $\leftrightarrow$ prawo

Symetria C = zamiana cząstka $\leftrightarrow$ antycząstka

Symetria CP = obie zamiany jednocześnie

Symetria CP jest lekko złamana. **Skutkiem tego:**

**Z początkowo równej liczby cząstek i antycząstek
pozostało $1/10^9$ cząstek – z nich są nasze ciała**

Na każdy barion (p,n) przypada 10^9 fotonów

- więcej $\Rightarrow$ nie powstałyby galaktyki**
- mniej $\Rightarrow$ nie powstawałyby gwiazdy**

Subtelna równowaga mikroświata

Oddziaływania elektromagnetyczne

- słabsze $\Rightarrow$ elektrony uciekłyby z atomów
- silniejsze $\Rightarrow$ nie powstałyby cząsteczki
- Podobne efekty daje zmiana $m_{\text{elektronu}}/m_{\text{protonu}}$

Oddziaływania jądrowe silne (wiązanie jąder)

- słabsze $\Rightarrow$ nie powstałyby pierwiastki $> \text{H}$
- silniejsze $\Rightarrow$ zbyt mało H i pierwiastków $> \text{Fe}$

Oddziaływania jądrowe słabe (rozpad neutronu)

- silniejsze $\Rightarrow$ szybszy rozpad n , mało He i cięższych
- słabsze $\Rightarrow$ wolny rozpad n , za dużo He i cięższych
- Subtelna równowaga potrzebna też supernowym

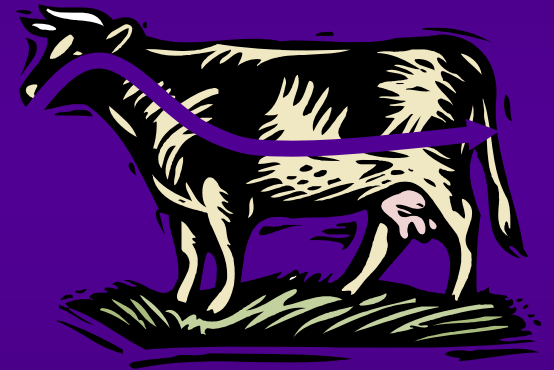
3 wymiary przestrzeni

Dlaczego $N=3$? **To wcale nie oczywiste.**

Współczesne teorie unifikacji sił przewidują 10, ale w tym 7 zwiniętych w skali mikroskopowej.

Dla $N=2$ nie mogą powstać złożone struktury.

Przewód pokarmowy przeciąłby nas na pół!



Dla $N>4$ nie mogłyby istnieć stabilne orbity planet i poziomy elektronów w atomach,
gdyż siły grawitacyjne i elektryczne $\sim 1/r^{N-1}$
czyli $1/r^2$ dla $N=3$, zaś $1/r^3$ dla $N=4$

Zasady antropiczne

Pojęcie wprowadził Carter w 1973 na konferencji w Krakowie w 500-lecie urodzin Kopernika.

Obserwowany Wszechświat musi spełniać warunki jakie spełnia, aby mógł być obserwowany.

Słaba Zasada Antropiczna (sposstrzeżenie)

Możemy istnieć tylko w takim Wszechświecie, który umożliwia nasze istnienie.

Gdyby wartości stałych były inne, nigdy byśmy tego nie zobaczyli, bo by nas nie było.

Mocna Zasada Antropiczna (wyjaśnienie celowe)

Wszechświat jest taki, abyśmy mogli zaistnieć.

Mocna Zasada Antropiczna

Wszechświat jest taki, abyśmy mogli zaistnieć.

- wykracza poza (dzisiejszą) metodologię nauki
- sugeruje istnienie projektu (*design*),
a więc i Projektanta

Paley:

- znaleźć kamień $\Rightarrow$ nic nadzwyczajnego
- znaleźć zegarek $\Rightarrow$ istnieje Zegarmistrz

Pułapka antropiczna

Założmy, że kosmici chcą zbadać problem kamieni i zegarków na Ziemi, czytając e-mail'e itp.

- ktoś znalazł zegarek $\Rightarrow$ chwali się znajomym
- ktoś napotkał kamień $\Rightarrow$ nie zwrócił uwagi

Google:

- 'znalazłem zegarek' = 30 000
- 'znalazłem kamyk' = 1000

$\Rightarrow$ Znalezienie zegarka na Ziemi jest 30× bardziej prawdopodobne niż kamienia!

Przestroga: sposób badania może zaburzyć wynik

Przez różowe okulary widzimy różowy Wszechświat

Antropiczne skrzywienie (bias)

W tę pułapkę wpadł Paul Dirac.

$$N_1 = \frac{\text{wiek Wszechświata}}{\text{czas przejścia światła przez atom}} \approx 10^{40}$$

$$N_2 = \frac{\text{siła elektryczna proton-elektron}}{\text{siła grawitacyjna proton-elektron}} \approx 10^{40}$$

Dirac zauważył, że $N_1=N_2$

Ale N_1 zależy od wieku Wszechświata.

Dlaczego żyjemy w czasach, kiedy $N_1=N_2$?

Dirac: *Może G zmienia się tak, że zawsze $N_1=N_2$?*

Dicke: *Żyjemy w takich czasach, bo w innych nie moglibyśmy. Gwiazdy musiały zdążyć powstać, ale nie wypalić się całkowicie.*

Wielość wszechświatów

Spośród wielu epok Wszechświata
możemy żyć tylko w obecnej.

Podobnie, może istnieje wiele wszechświatów,
a my widzimy tylko nasz?

Powstały teorie wszechświatów „pączkujących”,
ewoluujących, ... (Smolin et al.)

- za cenę stępnienia brzytwy Occama

Ale taki multi-wszechświat to obiekt złożony.

Aby mógł zaistnieć, prawa przyrody muszą mieć
bardzo szczególny kształt, a stałe fizyczne –
precyzyjnie dobrane wartości ...

Słaba Zasada Antropiczna

Możemy istnieć tylko w takim Wszechświecie, który umożliwia nasze istnienie.

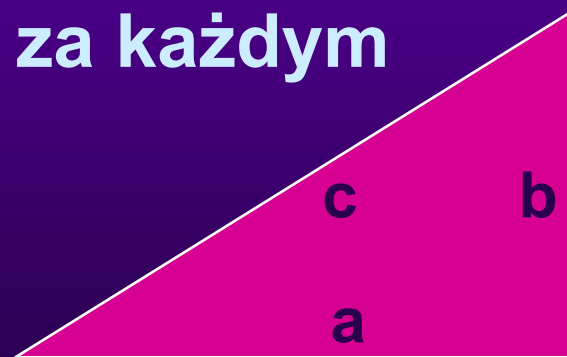
Krytyka: to tautologia, nic nowego nie wnosi.

Obrona: to pożyteczne twierdzenie.

Podobnie jak twierdzenie Pitagorasa

- nic nowego ponad aksjomaty Euklidesa
- ale zwalnia nas od zaczynania za każdym razem od aksjomatów

$$a^2 + b^2 = c^2$$



Pożytki ze Słabej Zasady Antropicznej

- Pozwala uniknąć błędu Diraca
- Może naprowadzić na konkretne przewidywania

Przykład: „chemia” człowieka oparta jest na ^{12}C

Węgiel w gwiazdzie mógłby powstać w procesach:



ale ^8Be żyje tylko $10^{-15}\text{s} \Rightarrow$ mała szansa spotkać ^4He

Hoyle wyliczył, że ^{12}C musi mieć rezonans $\approx 7.7 \text{ MeV}$

Potem go znaleziono eksperymentalnie = 7.65 MeV

Gdyby był o 0.0001% różny – nas by nie było.

Uwagi metodologiczne

Standardowe reguły metodologiczne
nie wystarczają do badania początków
Wszechświata i człowieka.

- **powtarzalność eksperymentu – niewykonalna**
- **falsyfikowalność teorii – problem multi-światów**

Popperowska metodologia tu nie przystaje,
podobnie jak hydrodynamika nie przystaje
do opisu pojedynczych cząsteczek H₂O.

Zasady metodologiczne opracowano metodą prób
i błędów. W procesie ewolucji zwyciężyły te,
które przynosiły najlepsze owoce.

**Ale w badaniu początków Wszechświata
i człowieka dopiero raczkujemy.**

Przed nami jeszcze wiele prób ... i błędów.