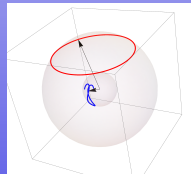
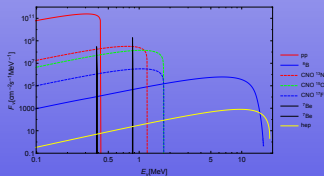
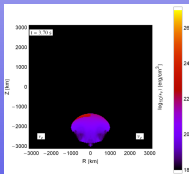


Podstawy astrofizyki i astronomii

Andrzej Odrzywołek

Zakład Teorii Względności i Astrofizyki, Instytut Fizyki UJ

11 czerwca 2019



Życie i inteligencja we Wszechświecie

- zmiany klimatu
- wielkie wymierania
- rozwój nauki
- pogoda kosmiczna

- okresowe zaburzenia orbity (tzw. cykle Milankovica)
- ewolucja Słońca a Snowball Earth

Założmy, że planeta absorbuje 100% promieniowania słonecznego, a następnie emituje je we wszystkich kierunkach jak ciało doskonale czarne:

$$P_{\text{abs}} = \frac{L_{\odot}}{4\pi d_{\oplus}^2} \pi R_{\oplus}^2, \quad L_{\odot} = 4\pi R_{\odot}^2 \sigma T_{\odot}^4$$

$$P_{\text{emit}} = 4\pi R_{\oplus}^2 \sigma T_{\oplus}^4$$

Po skróceniu otrzymujemy zależność pomiędzy temperaturą planety (Ziemi) a jej odległością od gwiazdy centralnej (Słońca):

$$2 \frac{d_{\oplus}}{R_{\odot}} = \left(\frac{T_{\odot}}{T_{\oplus}} \right)^2$$

Wynik zwykle podaje się jako rejon, w którym woda (H_2O) może występować w „stanie ciekłym” $273 \text{ K} < T_{\oplus} < 373 \text{ K}$:

$$0.55 \text{ AU} < d_{\oplus} < 1.05 \text{ AU}, \quad T_{\odot} = 5800 \text{ K}, R_{\odot} = 700000 \text{ km}$$

Ziemia ($d_{\oplus} = 1\text{AU}$) ledwo załapała się do tej strefy!

Założmy, że planeta absorbuje 100% promieniowania słonecznego, a następnie emituje je we wszystkich kierunkach jak ciało doskonale czarne:

$$P_{\text{abs}} = \frac{L_{\odot}}{4\pi d_{\oplus}^2} \pi R_{\oplus}^2, \quad L_{\odot} = 4\pi R_{\odot}^2 \sigma T_{\odot}^4$$

$$P_{\text{emit}} = 4\pi R_{\oplus}^2 \sigma T_{\oplus}^4$$

Po skróceniu otrzymujemy zależność pomiędzy temperaturą planety (Ziemi) a jej odległością od gwiazdy centralnej (Słońca):

$$2 \frac{d_{\oplus}}{R_{\odot}} = \left(\frac{T_{\odot}}{T_{\oplus}} \right)^2$$

Wynik zwykle podaje się jako rejon, w którym metan (CH_4) może występować w „stanie ciekłym” $90 \text{ K} < T_{\text{r}_2} < 110 \text{ K}$:

$$6.5 \text{ AU} < d_{\text{r}_2} < 9.7 \text{ AU}, \quad T_{\odot} = 5800 \text{ K}, R_{\odot} = 700000 \text{ km}$$

Saturn ($d_{\text{r}_2} = 9.6 \text{ AU}$) ledwo załapał się do tej strefy!

Bardzo ważnym pojęciem modyfikującym przedstawione przed chwilą rozumowanie jest albedo, czyli współczynnik odbicia promieniowania przez obiekt astronomiczny.

- dla ciała doskonale czarnego $\text{albedo} = 0$
- dla idealnego lustra $\text{albedo} = 1$

Przykłady:	jądro komety	0.04
	asfalt	0.04
	Ziemia	0.3
	śnieg	0.80
	Wenus	0.90
	Eris	0.96
	Enceladus	0.99

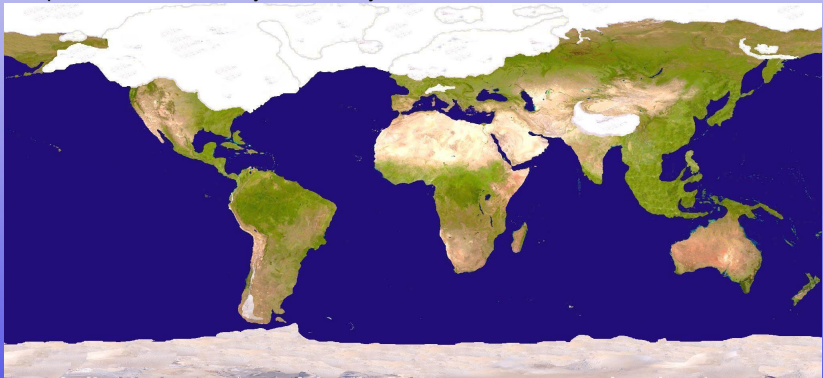
Używa się kilku definicji. Najważniejsze to albedo Bonda („energetyczne”; modelowanie klimatu) i albedo geometryczne („wizualne”; obserwacje).

Ostatnie maksimum zlodowacenia

Okolo 20 000 lat temu, z orbity ujrzelibysmy szokujacy obraz:

- 1 Ameryka Pólnocna i Europa pokryte lodolodem o grubosci kilku kilometrow
- 2 poziom oceanu nizszy o 200 metrow
- 3 jeziora zaporowe, zmienione koryta rzek
- 4 inny klimat

Co spowodowalo tak drastyczne zmiany w bardzo krótkim czasie?



Ostatnie maksimum zlodowacenia

Około 20 000 lat temu, z orbity ujrzelibyśmy szokujący obraz:

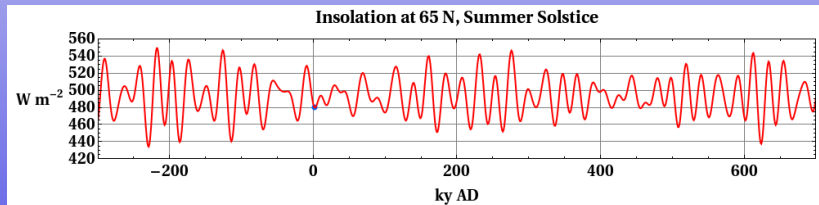
- 1 Ameryka Północna i Europa pokryte lądolodem o grubości kilku kilometrów
- 2 poziom oceanu niższy o 200 metrów
- 3 jeziora zaporowe, zmienione koryta rzek
- 4 inny klimat

Co spowodowało tak drastyczne zmiany w bardzo krótkim czasie?

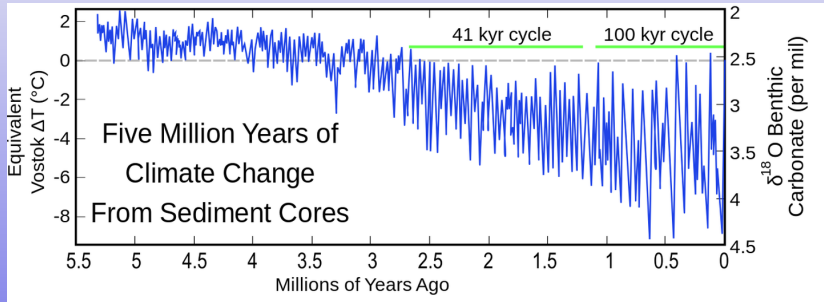


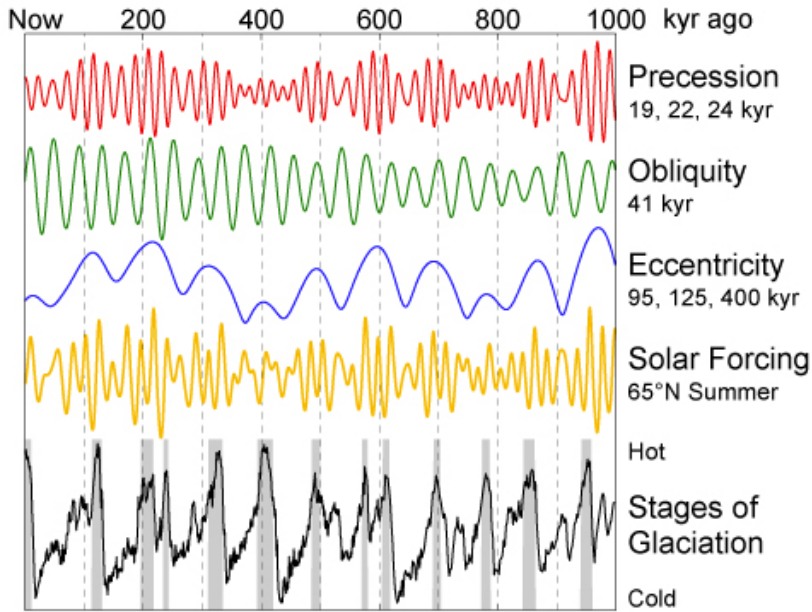
Elementy orbity Ziemi podlegają okresowym zmianom, wywołanym perturbacjami Jowisza, Saturna i innych planet:

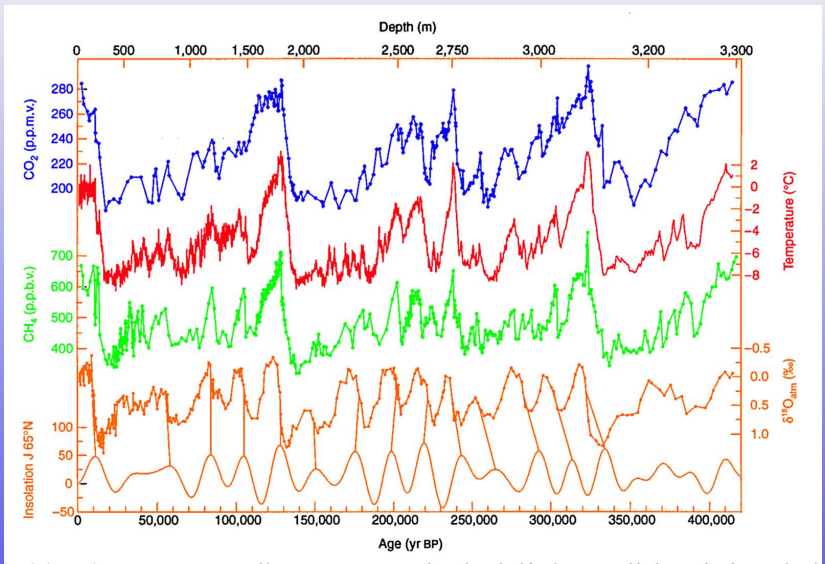
- 1 zmiana mimośrodów orbity w zakresie $0 \leq e < 0.05$ z okresem około 100 tysięcy lat (aktualnie: $e = 0.0167$)
- 2 wahania nachylenia osi obrotu Ziemi z zakresie $21.5 < \alpha < 24.5$ z okresem 41 000 lat (obecnie $\alpha = 23.5^\circ$)
- 3 precesja peryhelium z okresem około 112 000 lat (obecnie Ziemia jest w peryhelium 4 stycznia)
- 4 precesja osi obrotu Ziemi z okresem około 26 000 lat



<http://www.sciencecourseware.org/eec/GlobalWarming/Tutorials/Milankovitch/>





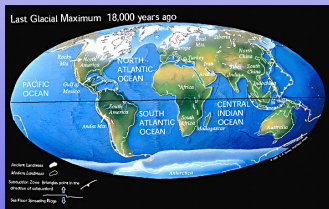


Ziemia oscyluje pomiędzy dwoma stanami stabilnymi:

- 1 stan chłodni (ang. *icehouse earth*)
- 2 stan szklarni (ang. *greenhouse earth*)

Chłodnia

lądolody na biegunach
niskie stężenie CO₂
20% historii



Cieplarnia

brak stałego zlodowacenia
wysokie stężenie CO₂
80% historii

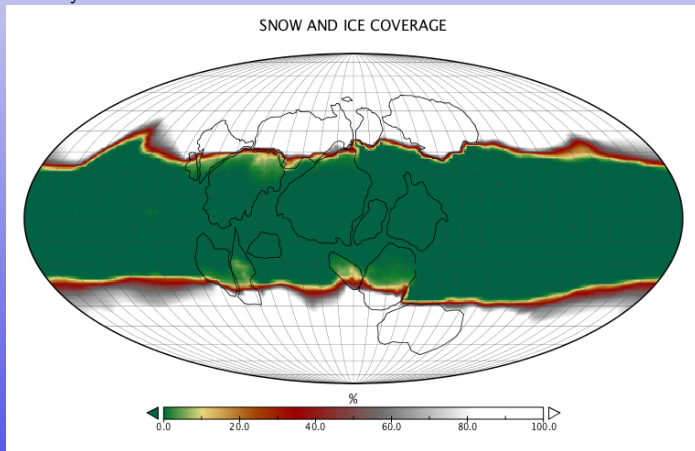


Obecnie Ziemia jest w stanie chłodni, w trakcie interglacjału.

Połączymy dwa fakty:

- 1 wzór na temperaturę Ziemi w zależności od odległości do Słońca
- 2 wzrost mocy promieniowania Słońca w tempie około 7% na 10^9 lat (miliard lat)

Kiedy w przeszłości Ziemia „wypada” ze strefy ciekłej wody $T = 0^\circ \text{C}$? Około 1-2 miliardy lat temu!

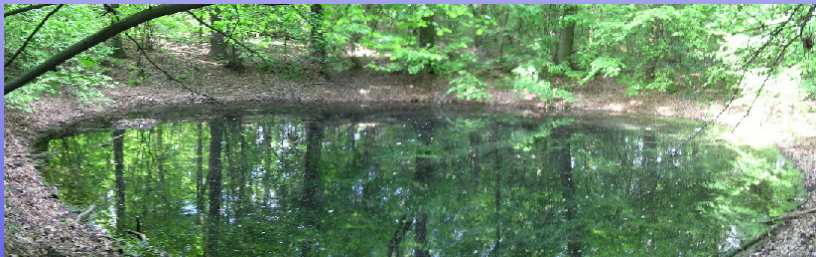


Gwałtowny spadek liczby gatunków w geologicznie krótkim czasie. Najważniejsze z wielu:

- 1 wymieranie permskie, wyznaczające koniec ery paleozoiku
- 2 wymieranie kreda/trzeciorzęd wyznaczające koniec ery mezozoiku

Wydarzenia te mają pozornie kwaziokresowy charakter z $T \sim 100$ milionów lat.
Przyczyny „astrofizyczne”:

- wybuchy hipernowych/ rozbłyski gamma
- uderzenia meteorów i komet



Jeden z kraterów Morasko k. Poznania Źródło: <http://www.pkim.org/>



Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.





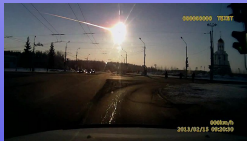
Each blue dot below represents a cenote such as the one to the left.



Chichen Itza Cenote



- złożony, ale regularny układ planetarny
- komety
 - 1 Tycho wykazuje, że kometa jest 4x dalej niż Księżyc
 - 2 Halley przewiduje powrót komety
- impakty, kratery, cenote
- zaćmienia
- supernowe, nowe, gwiazdy zmienne
 - 1 Algol, Mira — pierwsze gwiazdy zidentyfikowane jako zmienne
 - 2 SN1604 — *De Stella Nova in pede serpentari*
 - 3 S And vel SN1885 — odkrycie galaktyk
 - 4 SN 1987A — pierwsze neutrino z obiektu pozasłonecznego
 - 5 GW150914 — pierwsza obserwacja fal grawitacyjnych (złączenie pary czarnych dziur o masach 29 i 36 M_{\odot})



- Ziemia jedyną planetą na której występuje życie, od około 3.9 miliarda lat
- niejasne pochodzenie: teoria panspermii lub „zupy pierwotnej”
- odnalezienie życia gdziekolwiek poza Ziemią byłoby rewolucyjnym odkryciem
- powszechnie zakłada się, że woda w stanie ciekłym jest warunkiem koniecznym życia
- do niedawna za warunek konieczny uważano odpowiednie promieniowanie „słoneczne”
- 4 ery życia na Ziemi:
 - 1 era geochemiczna/geotermalna (początek: 4.28 ... 3.77 mld lat temu)
 - 2 era światła/fotosyntezy (początek: 2.4 ... 2.1 mld lat temu)
 - 3 era „mięsa”/zjadania innych organizmów (początek: 540 mln lat temu)
 - 4 era ognia/paliw kopalnych (1.7 ... 0.2 mln lat temu)

Powyższe warunki zawężają poszukiwania w Układzie Słonecznym do Marsa, natomiast dla egzoplanet wyznaczają *ekosferę*.

Szerszy zakres poszukiwań uwzględnia źródła energii geotermicznej lub/i inne płyny zamiast wody, np: węglowodory (metan itd.).

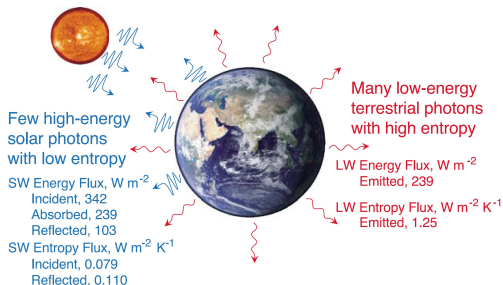


Figure 1. The global average energy and entropy fluxes from the zero-dimensional model of the Earth system. Earth's emitted LW and absorbed SW energy fluxes are balanced, but the entropy flux of the Earth's emitted LW radiation is 1 order of magnitude greater than the entropy flux of the incident or reflected SW radiation. The values of radiation energy and entropy fluxes are calculated for Earth's SW albedo of 0.30 and LW emissivity of 0.60 and for the solar constant $1367 W m^{-2}$. Adapted from *Stephens and O'Brien* [1993, Figure 1].

$$\frac{S_{in}}{S_{out}} = \frac{T_{\oplus}}{T_{\odot}}$$

Poglądy na warunki niezbędne dla istnienia życia zweryfikowały odkrycia:

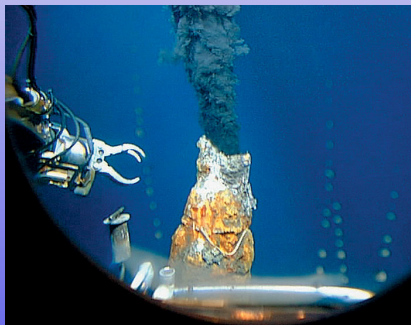
- 1 kominów hydrotermalnych na dnie oceanu
- 2 ekstremofilnych organizmów

Powyższe rozszerza listę do wszystkich ciał niebieskich posiadających źródło energii geotermalnej i wodę w stanie ciekłym!

- Europa
- Enceladus
- Ganimedes
- ?

Jeżeli zamiast wody dopuścimy ciekły metan, to lista się wydłuży o Tytana.

Źródło: Aliens of the Deep <http://www.imdb.com/title/tt0417415/>



Poglądy na warunki niezbędne dla istnienia życia zweryfikowały odkrycia:

- 1 kominów hydrotermalnych na dnie oceanu
- 2 ekstremofilnych organizmów

Powyższe rozszerza listę do wszystkich ciał niebieskich posiadających źródło energii geotermalnej i wodę w stanie ciekłym!

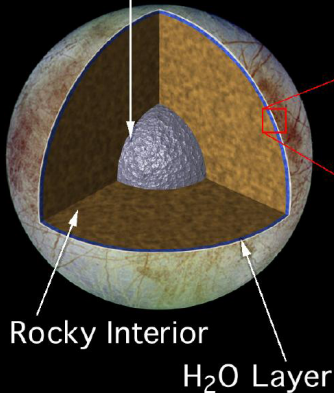
- Europa
- Enceladus
- Ganimedes
- ?

Jeżeli zamiast wody dopuścimy ciekły metan, to lista się wydłuży o Tytana.

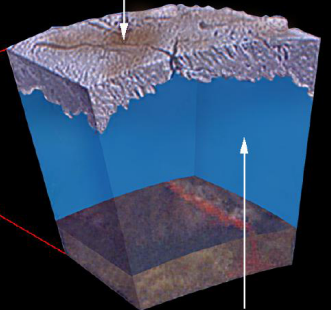
Źródło: Aliens of the Deep <http://www.imdb.com/title/tt0417415/>



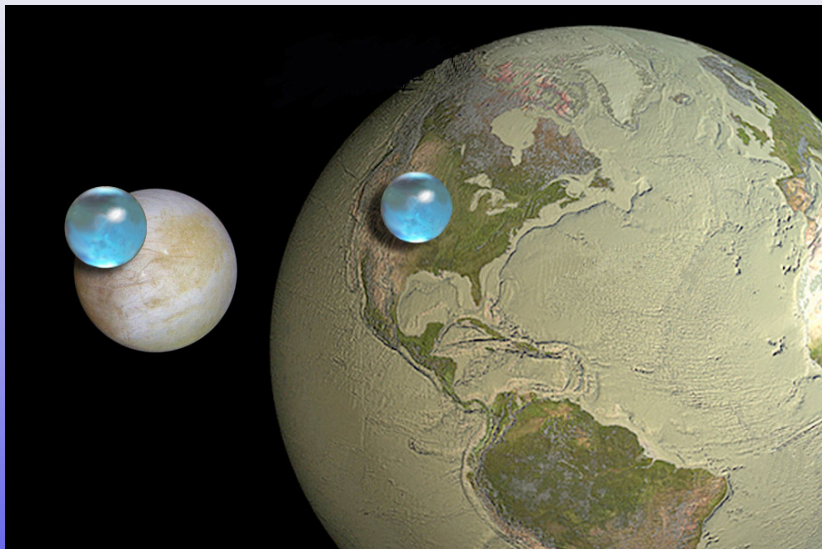
Metallic Core



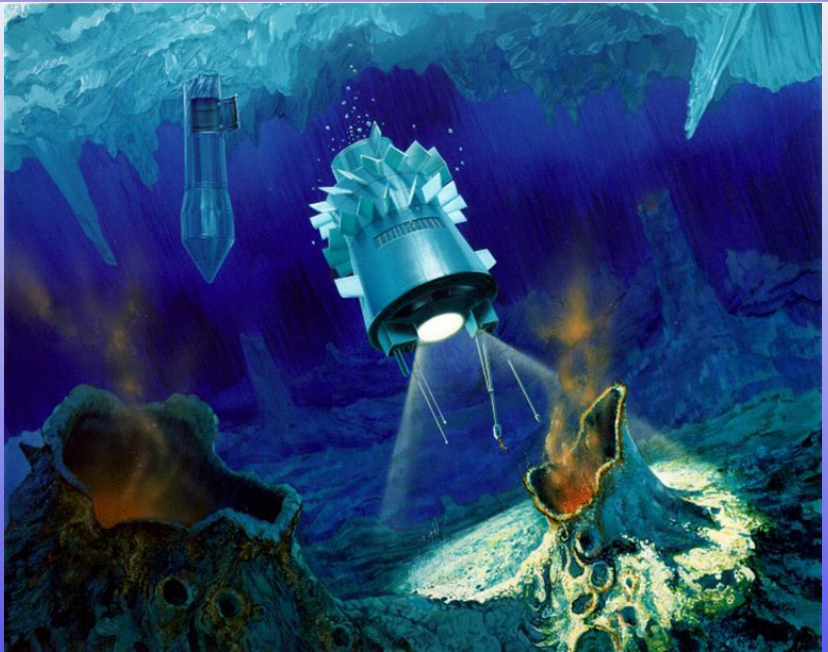
Ice Covering



Liquid Ocean Under Ice









- ❶ paradoks Fermiego: czas dyfuzji cywilizacji technologicznej (10 milionów lat) znacznie mniejszy od wieku Galaktyki (10 miliardów lat)
- ❷ SETI: milczenie Wszechświata
- ❸ skala Kardaszewa: gdzie są skutki działania zaawansowanych cywilizacji (zob: KIC 8462852)?
- ❹ równanie Drake'a na ilość cywilizacji technicznych

- 1 paradoks Fermiego: czas dyfuzji cywilizacji technologicznej (10 milionów lat) znacznie mniejszy od wieku Galaktyki (10 miliardów lat)
- 2 SETI: milczenie Wszechświata
- 3 skala Kardaszewa: gdzie są skutki działania zaawansowanych cywilizacji (zob: KIC 8462852)?
- 4 równanie Drake'a na ilość cywilizacji technicznych

- 1 paradoks Fermiego: czas dyfuzji cywilizacji technologicznej (10 milionów lat) znacznie mniejszy od wieku Galaktyki (10 miliardów lat)
- 2 SETI: milczenie Wszechświata
- 3 skala Kardaszewa: gdzie są skutki działania zaawansowanych cywilizacji (zob: KIC 8462852)?
- 4 równanie Drake'a na ilość cywilizacji technicznych

Życie inteligentne we Wszechświecie?

- 1 paradoks Fermiego: czas dyfuzji cywilizacji technologicznej (10 milionów lat) znacznie mniejszy od wieku Galaktyki (10 miliardów lat)
- 2 SETI: milczenie Wszechświata
- 3 skala Kardaszewa: gdzie są skutki działania zaawansowanych cywilizacji (zob: KIC 8462852)?
- 4 równanie Drake'a na ilość cywilizacji technicznych

$$N = R_* f_p n_e f_l f_i f_c L$$

- N - ilość cywilizacji zdolnych do kontaktu
- R_* - tempo tworzenia gwiazd (10/rok)
- f_p - prawdopodobieństwo posiadania planet (1)
- n_e - ilość planet zdolnych do podtrzymania życia (4)
- f_l - prawdopodobieństwo powstania życia (1)
- f_i - prawdopodobieństwo wyewoluowania inteligencji (1)
- f_c - prawdopodobieństwo wytworzenia technologii/nauki (1/100)
- L - średni czas życia cywilizacji (500 lat)

$$N = R_* f_p n_e f_l f_i f_c L$$

DRAKE EQUATION

The first National Academy of Sciences conference on the detection of extraterrestrial intelligent life was held from October 30 to November 3, 1961. In his opening remarks, Frank Drake proposed the above equation as the agenda for the meeting. The terms have the following meaning:

- | | |
|--|--|
| N = number of communicative civilizations in the Galaxy. | L = fractional main sequence lifetime in which life begins. |
| R_* = rate of solar type star formation in the Galaxy. | f_l = fraction of life starts that eventually communicate. |
| f_p = fraction of such stars having planetary systems. | f_i = fraction of those that attempt interstellar communication. |
| n_e = average number of planets in the envelope of the star. | L = average longevity of the communicative phase. |

The factors on the right are essentially unknown, so N remains a tantalizing mystery. Nevertheless, the Drake equation served, and still serves, as an excellent way to categorize our ignorance and thereby stimulate productive discussion and research.

Presented here: National Academy of Sciences, Conference on the SETI Search, October 1961