



**Uniwersytet Mikołaja Kopernika
Toruń 6 XII 2013**

**W POSZUKIWANIU ŚLADÓW
NASZYCH PRAPOCZĄTKÓW**



Prof. Henryk Drozdowski



Wydział Fizyki UAM



**Dedykuję ten wykład
o pochodzeniu materii
wszystkim**

**„czułym sercom,
które nienawidzą rozległej
i czarnej nicości”**



**Badając niebo i atom
odnaleźliśmy w nich
ślady naszych prapoczątków**



**Filozoficzne zrozumienie
całości świata,
w którym żyjemy**

**Ostatecznym celem kosmologii
jest pełne zrozumienie
globalnych właściwości Wszechświata**



„Naszym celem

**jest kompletny opis Wszechświata,
w którym żyjemy,
nic skromniejszego nas nie zadowoli”**

/Stephen Hawking/

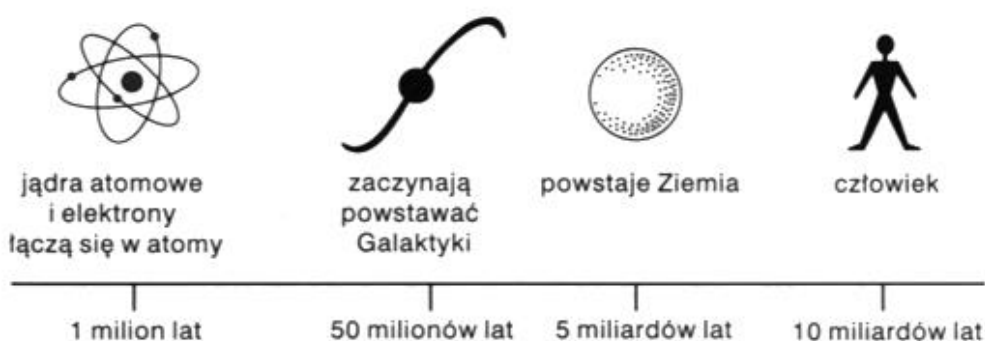
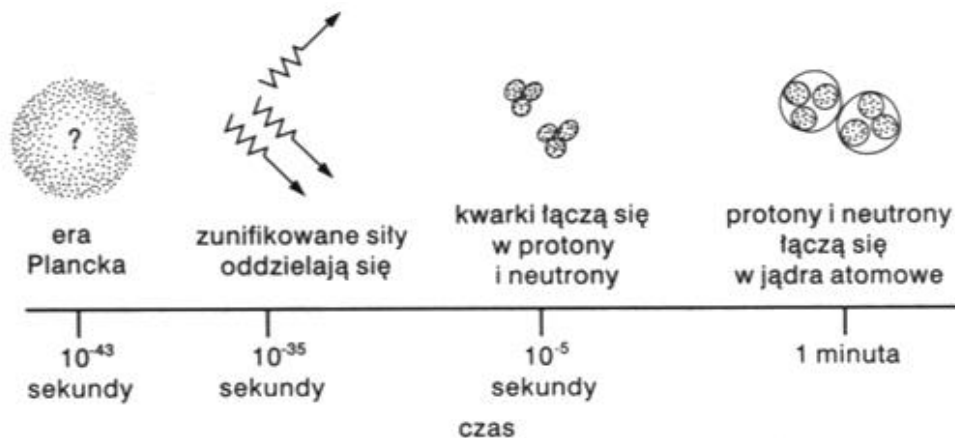


**Wszystkie zasadnicze idee naukowe
zrodziły się z dramatycznego konfliktu
między rzeczywistością a naszymi próbami
jej zrozumienia**

A. Einstein, L. Infeld, *Ewolucja fizyki*

„Uświadomiłem sobie, że znajduję się na małym, okrągłym ziarnie z kamienia i metalu, otoczonym warstewką wody i powietrza, wirującym w mroku i oświetlanym blaskiem słońca. A na skórcie tego małego ziarna żyły całe chmary ludzi, pokolenie za pokoleniem, w trudzie i ślepcie, przeżywając krótkie chwile radości i pogody ducha. A cała ich historia, z jej wędrówkami ludów, imperiami, filozofiami, dumną nauką, rewolucjami i rosnącym pragnieniem życia w społeczności, była tylko mgnieniem w jednym dniu życia z życia gwiazd”.

**/Olaf Stapledon *Star Maker*
(Twórca gwiazd) – 1937/**



Jedność praw Kosmosu





Edwin Hubble

odkrył zjawisko rozszerzania się
Wszechświata





Galaktyka należąca do gromady w gwiazdozbiore

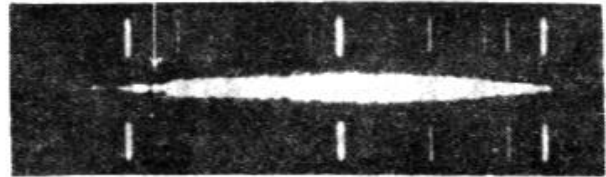
Odległość w parsekach (przybliżona)

Przesunięcie ku czerwieni
H + K



Panny

10 000 000

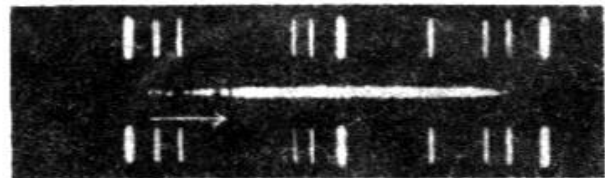


1 200 km/s



Wielkiej Niedźwiedzicy

100 000 000

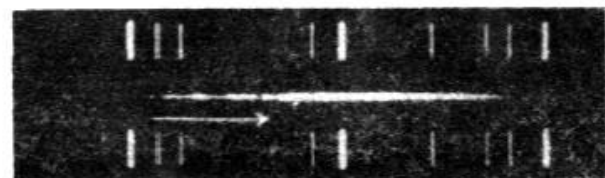


15 000 km/s

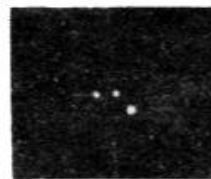


Korony Północy

150 000 000

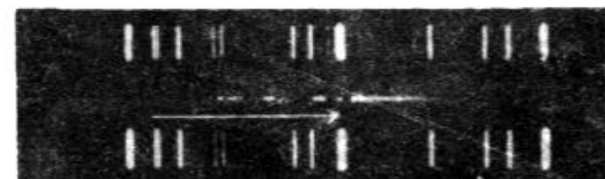


21 600 km/s



Wolarza

250 000 000

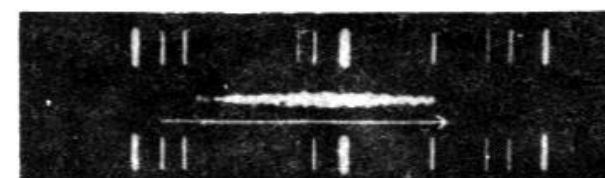


39 300 km/s

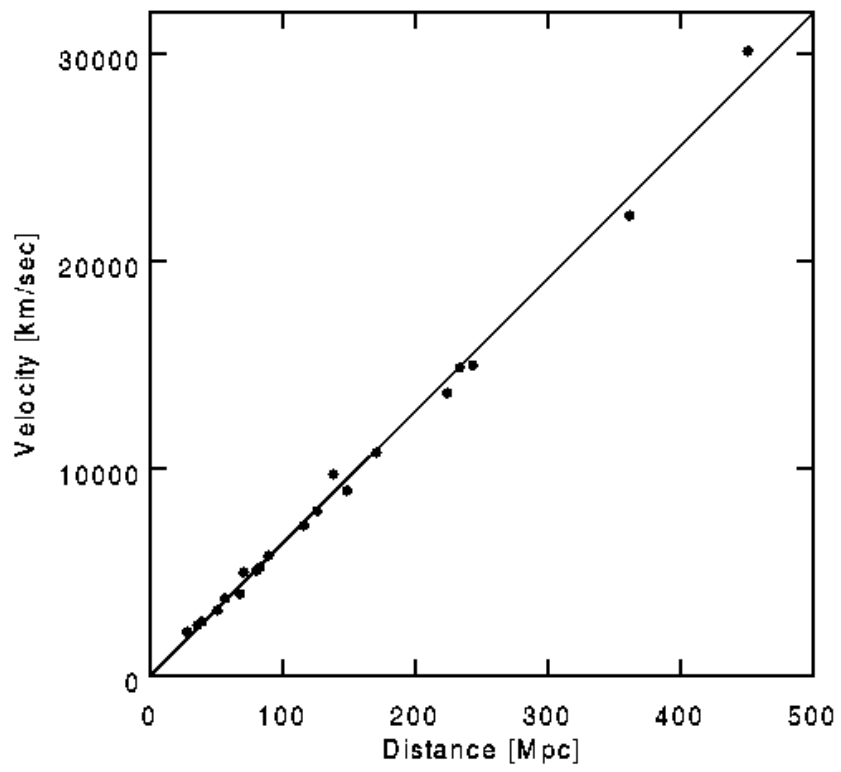


Hydry

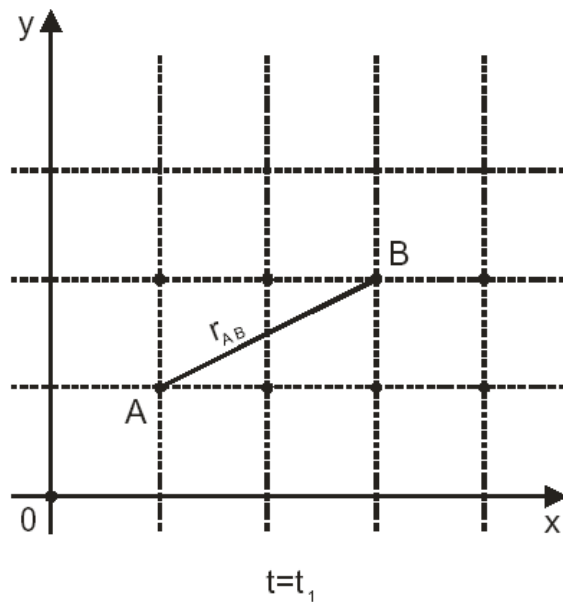
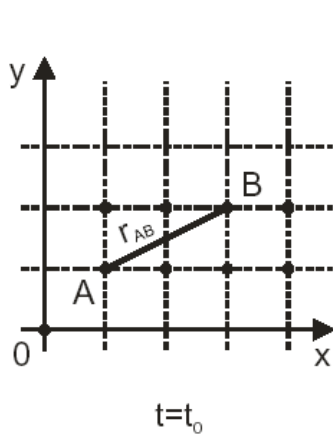
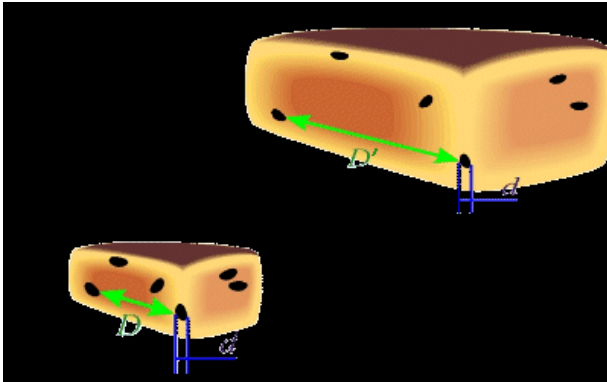
400 000 000



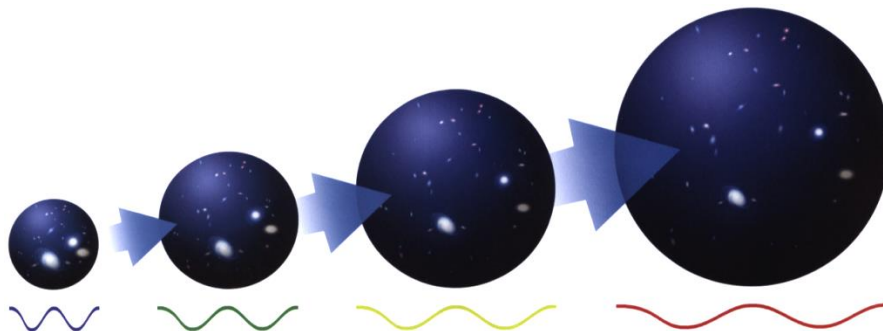
61 200 km/s



Rozszerzanie się Wszechświata



Ilustracja izotropowego rozszerzania Wszechświata.
„Puchnąca” przestrzeń (obrazowana przez rozszerzającą się siatkę) unosi ze sobą galaktyki





$$v = H r$$



$$d_L = \left(\frac{L}{4\pi L_{obs}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$L_{obs} = \frac{L}{4\pi r^2}$$

PRAWO HUBBLE'A:

$$v \approx H d_L \approx c z$$



Ekspansja Wszechświata



**Ochładzanie
Kosmosu**



**Cząstki
łączą się**



**Wzrost odległości
między galaktykami**



**Powstają
układy złożone**



Pojęcie rozszerzającego się Wszechświata

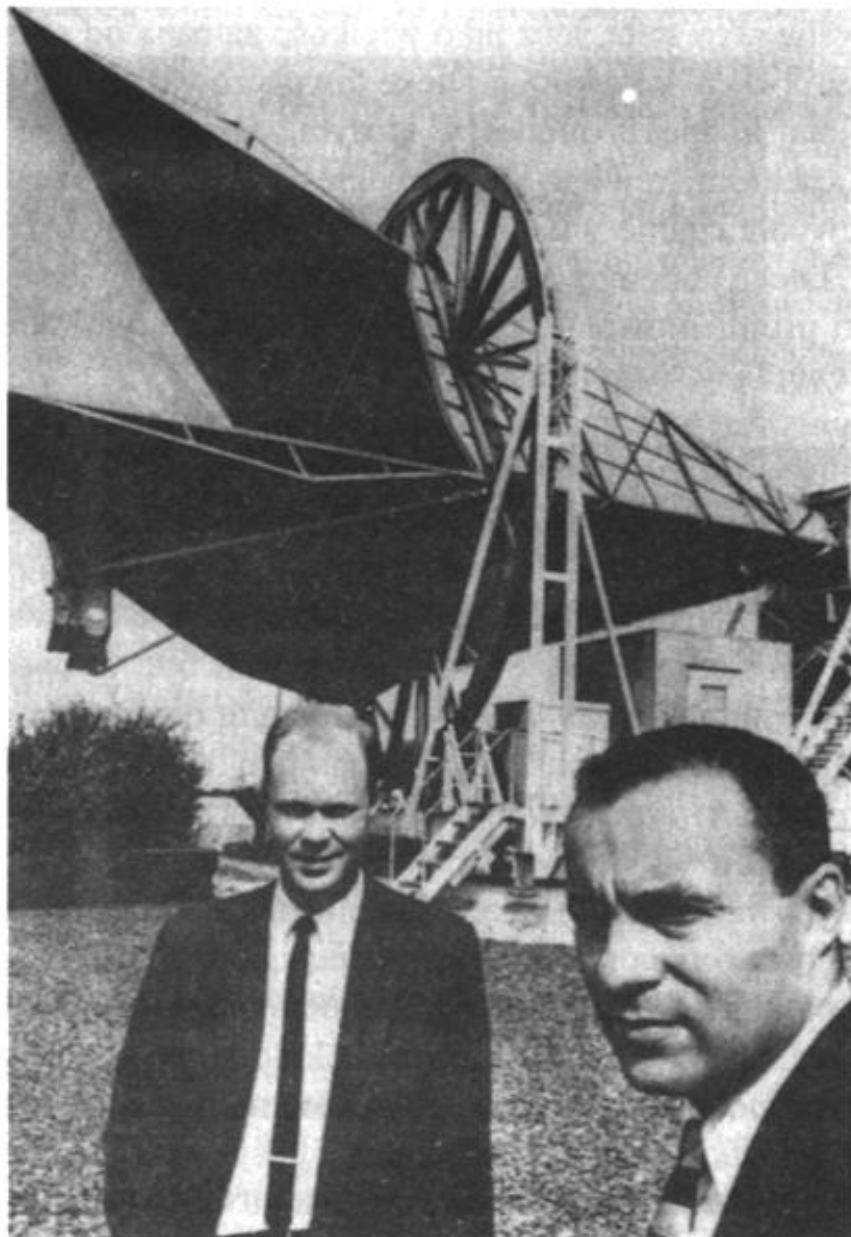
**oparte na teorii Einsteina
i prawie Hubble'a,
stawia nas twarzą w twarz
wobec pytań**

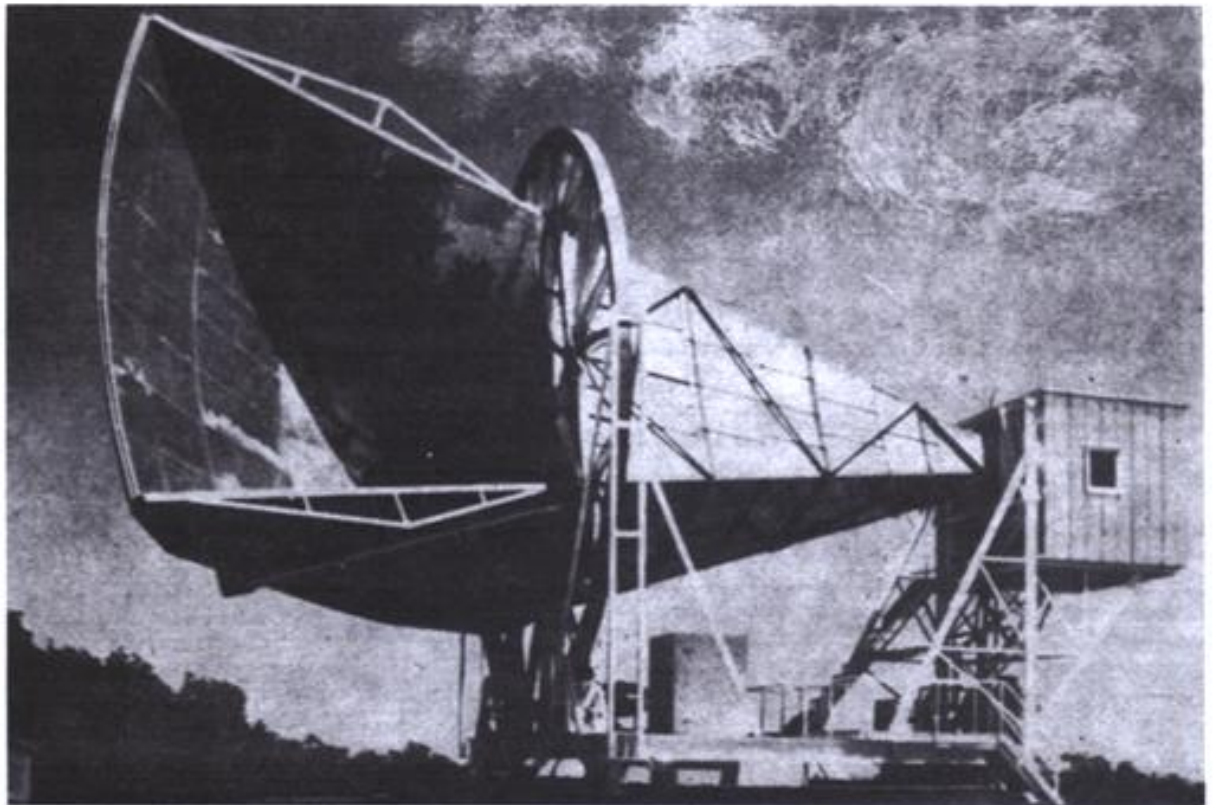
o początek Wszechświata



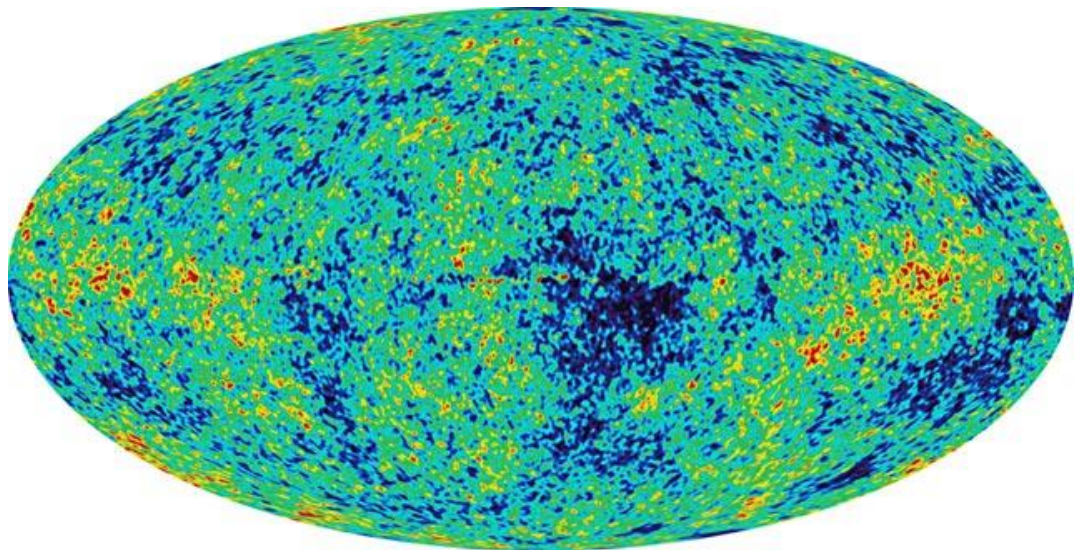
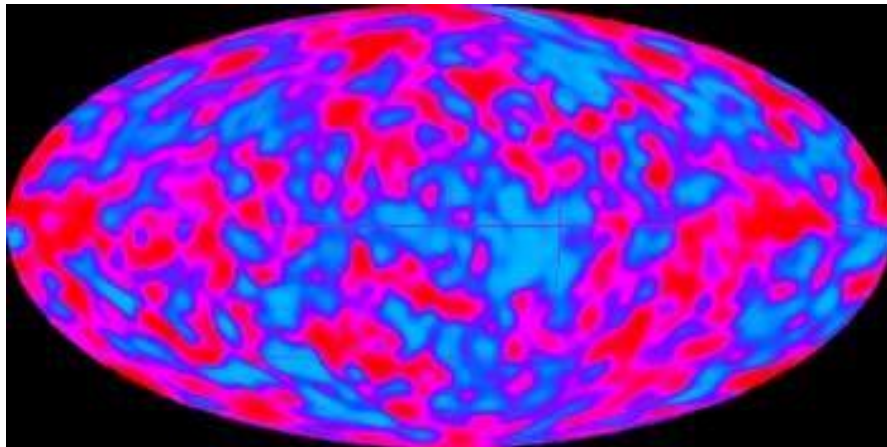
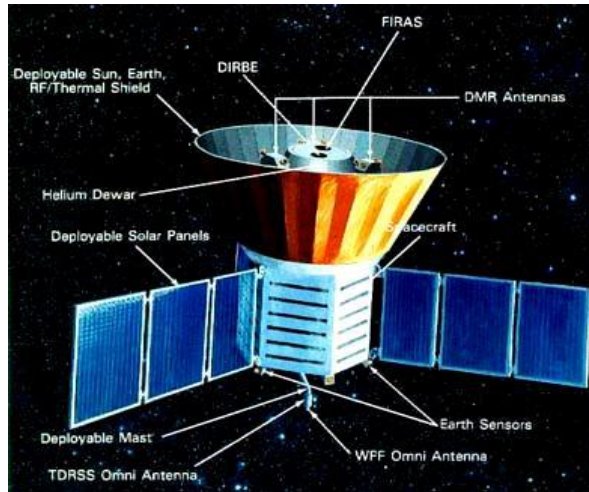
Odkrycie

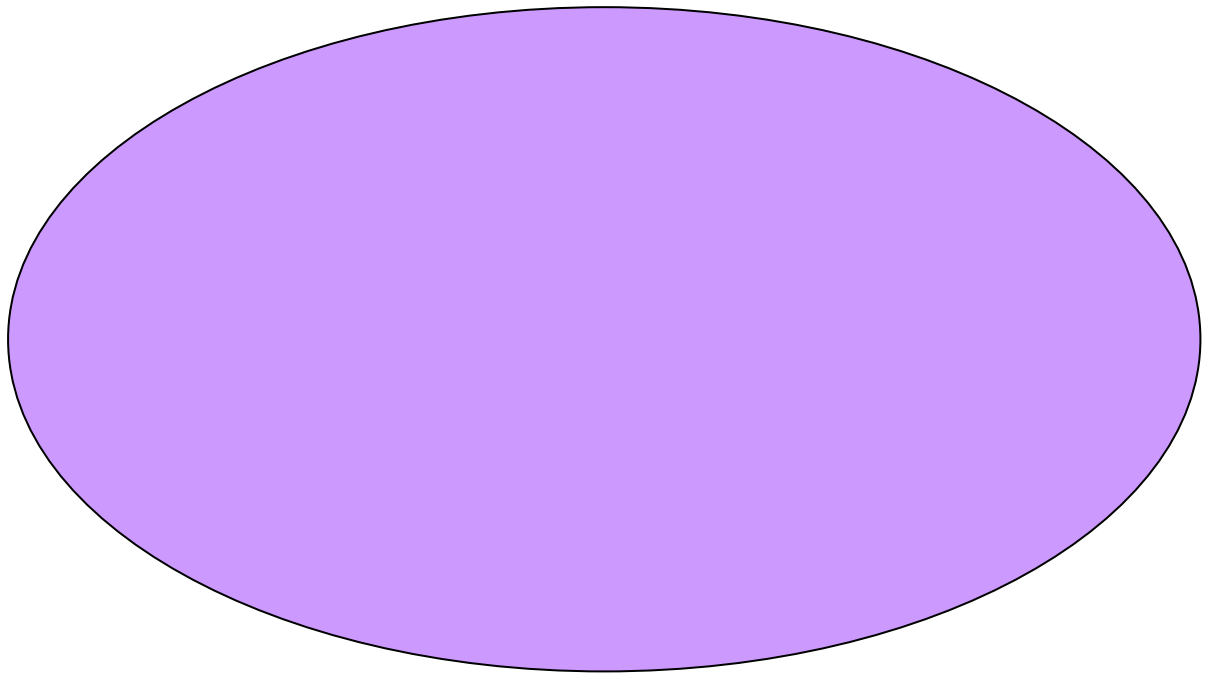
reliktwego promieniowania tła



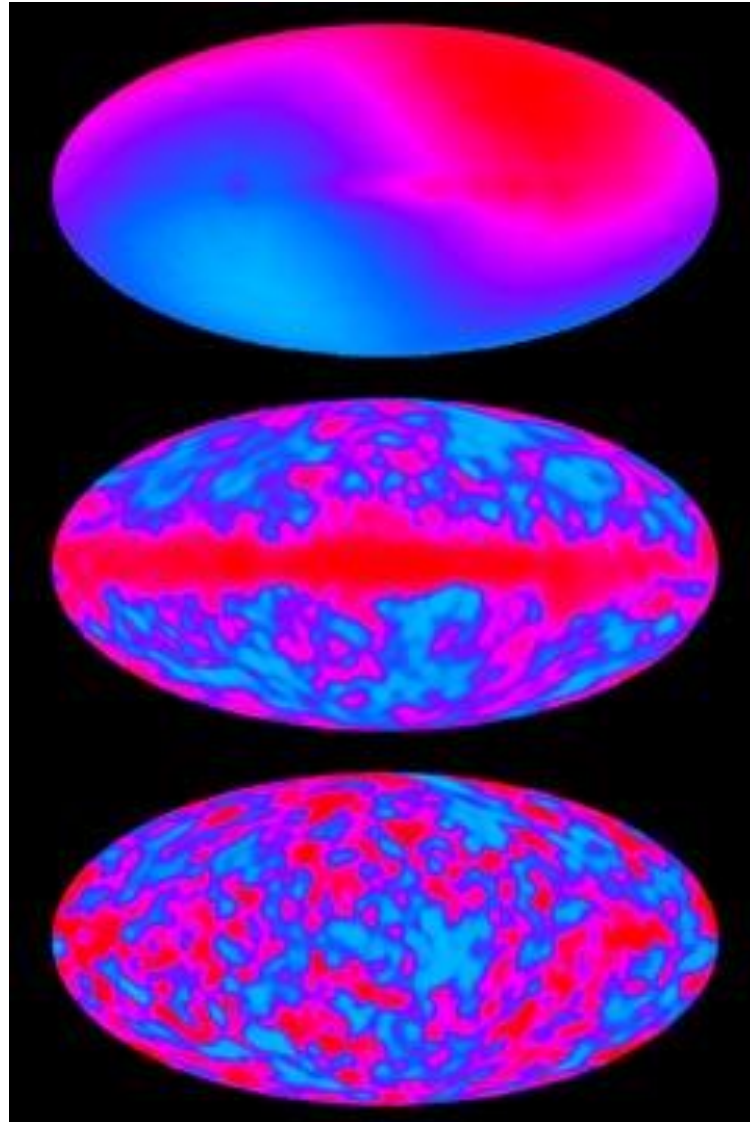


Antena Wilsona i Penziasa

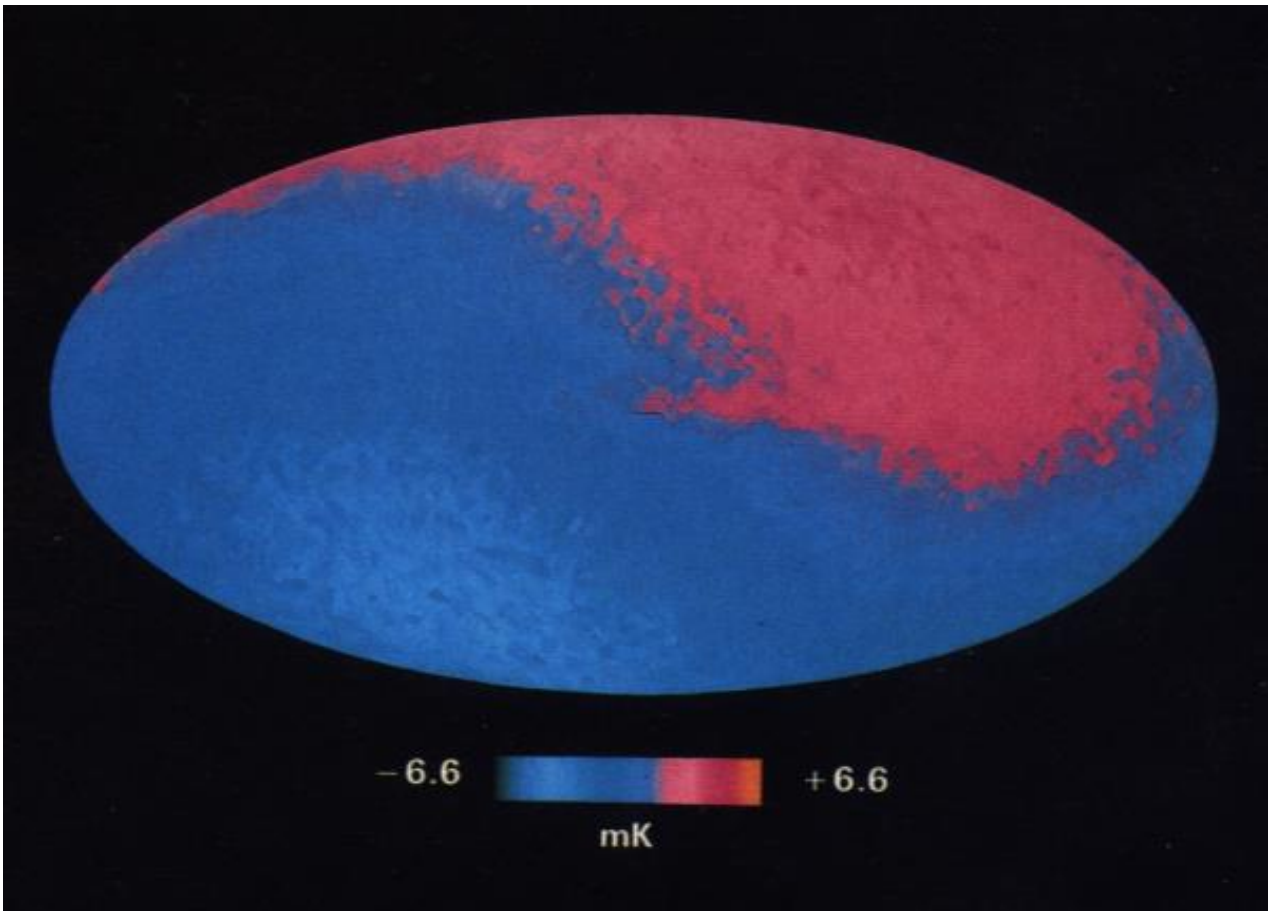




**Pierwsze przybliżenie:
rpt jest izotropowe**

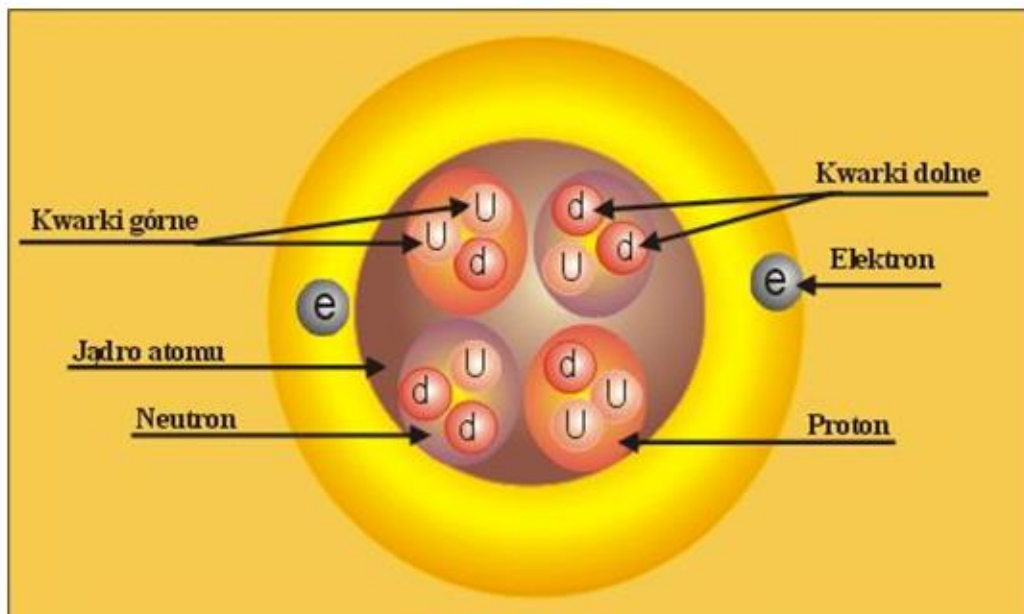
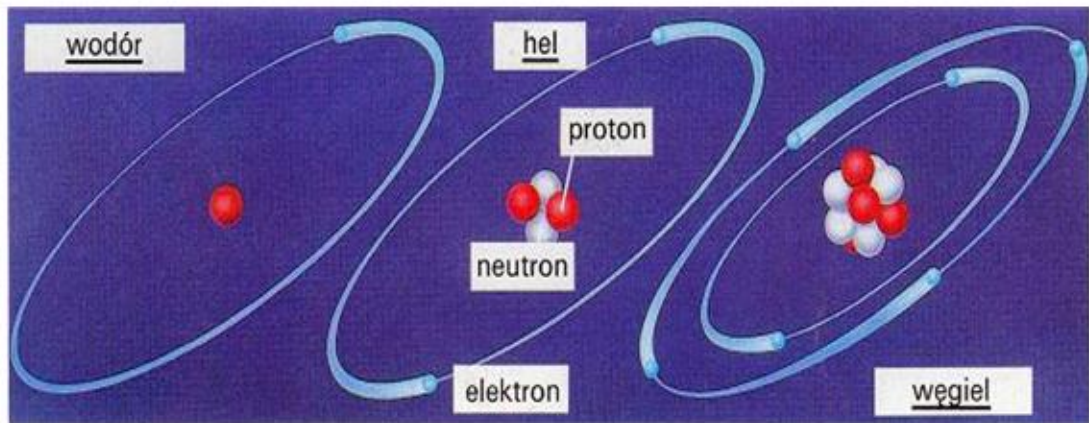


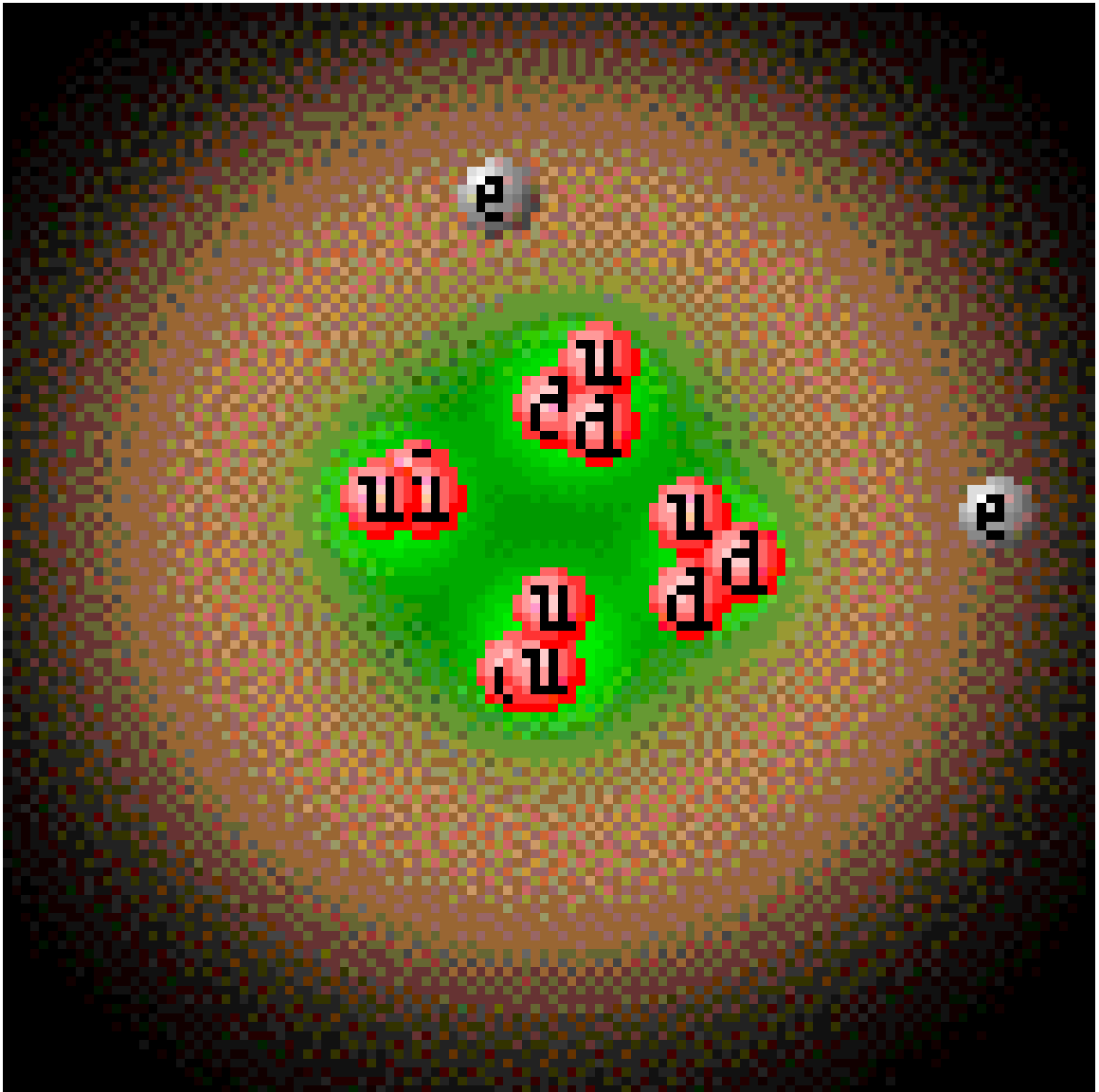
1. Wpływ ruchu Ziemi względem „globalnego” układu z prędkością $v=337$ km/s.
2. Promieniowanie naszej Galaktyki – po odjęciu efektu Dopplera.
3. *Rpt* po odjęciu promieniowania Galaktyki i innych źródeł.





ODKRYWANIE NOWYCH ŚWIATÓW...

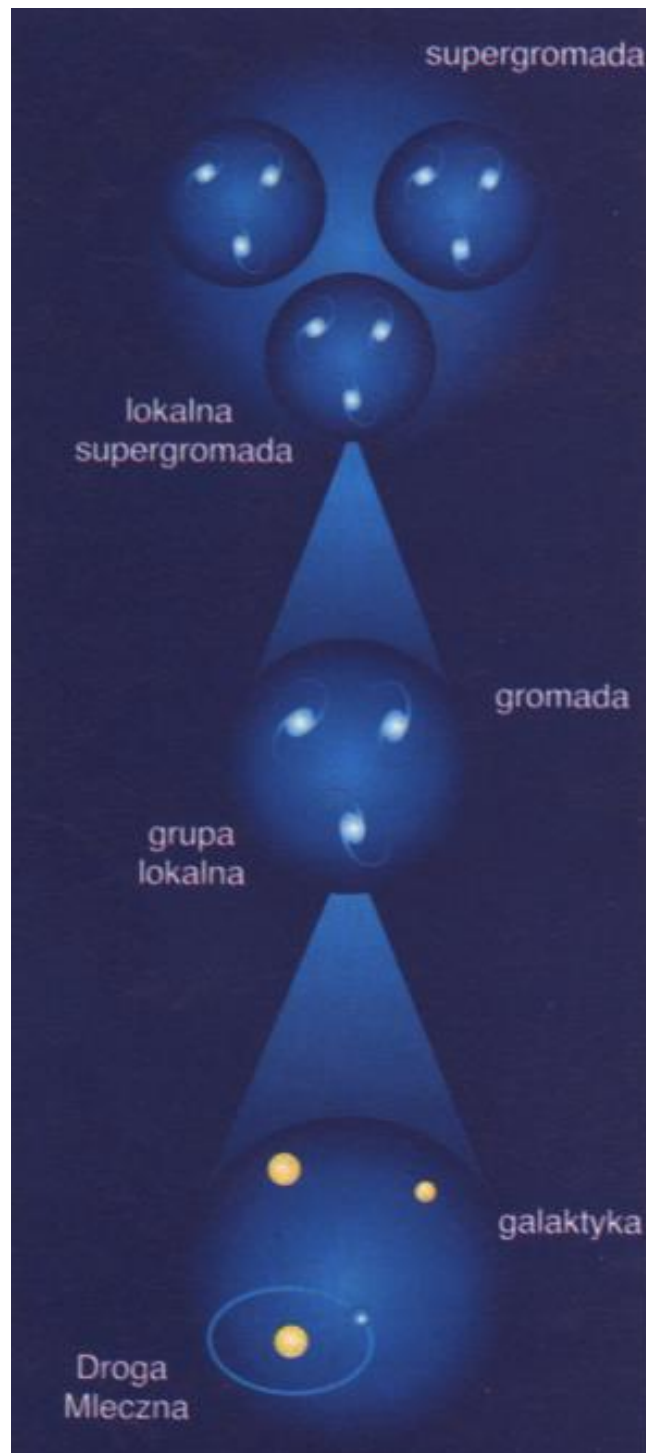






Struktura Wszechświata

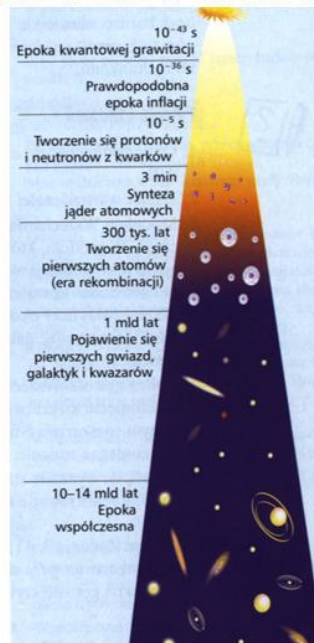






Mikroświat

cząstek elementarnych



Kosmos

gwiazd i galaktyk

Paradygmat współczesnej nauki

Standardowy model Wszechświata – Teoria Wielkiego Wybuchu – stanowi najbardziej adekwatny opis ewolucji Kosmosu



- 1. Wiek Wszechświata wynosi 13,7 mld lat z błędem około 1%.**
- 2. Promieniowanie reliktowe powstało około 380000 lat po WW (T = 3000K).**
- 3. Pierwsze gwiazdy „zapaliły się” około 200 mln lat po Wielkim Wybuchu.**
- 4. Stała Hubble’a wynosi $H_0 = 71 \text{ km/sMpc}$ z błędem 5%.**



5. Kosmiczna substancja składa się z 4% z nukleonów, w 23% z chłodnej ciemnej materii i w 73% z ciemnej energii.

6. Przepuszczalnie miała miejsce inflacja.

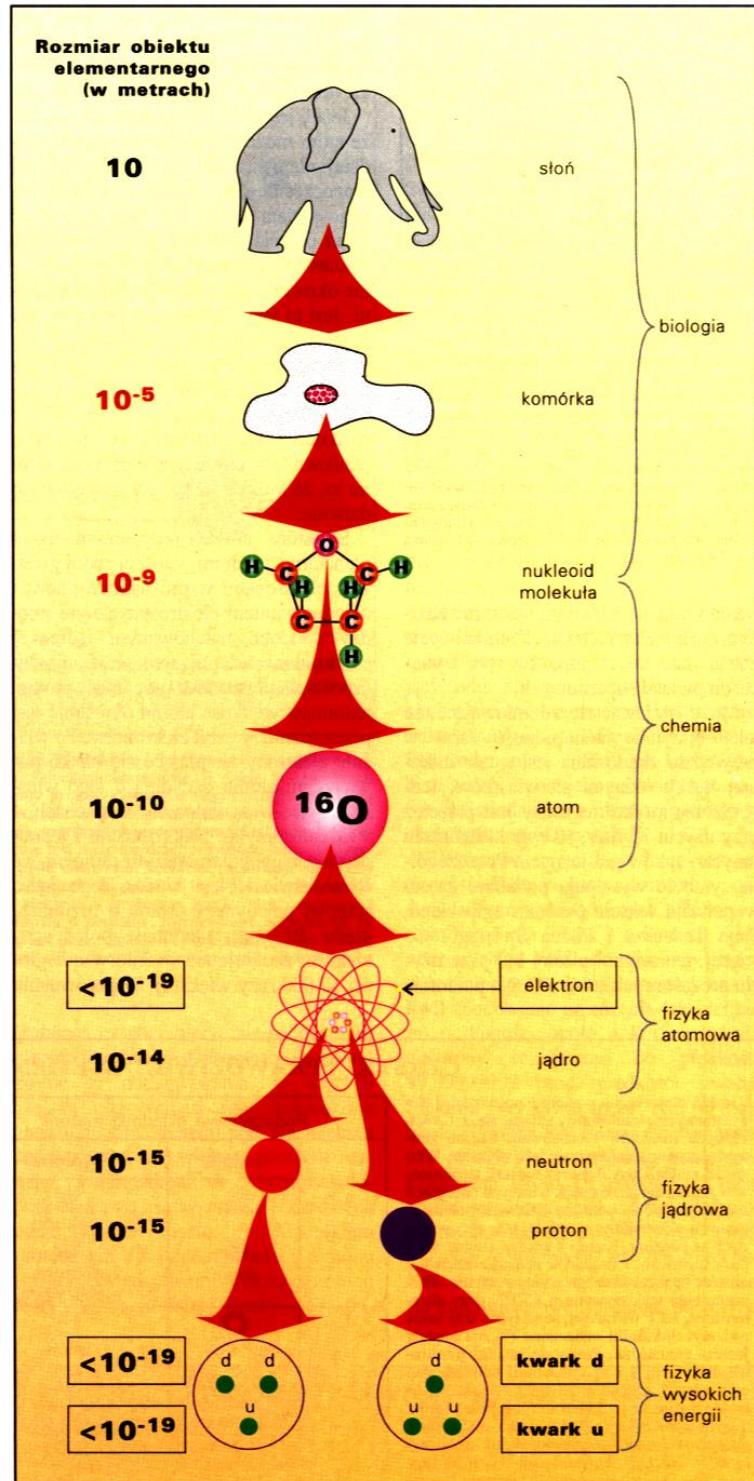


Wiemy i rozumiemy to, co mogło się wydarzyć „dopiero” po upływie około 10^{-43} sekundy od momentu Wielkiego Wybuchu.













Wtedy temperatura Wszechświata wynosiła $T = 10^{32}$ K, a gęstość materii $d = 10^{96}$ kg/m³ (gorący i gęsty ośrodek).





Po sześciu minutach gęstość materii we Wszechświecie odpowiadała gęstości wody.

Dziś średnia gęstość materii wynosi $d = 5 * 10^{-28}$ kg/m³.





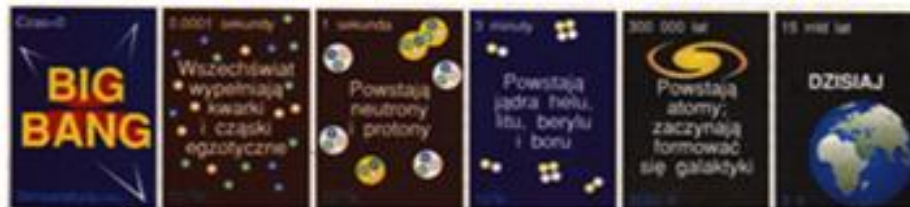
Podstawowe składniki materii		
	kwarki	leptony
zwykła materia	 up  down	 elektron  neutrino elektronowe
materia tworzona przy wysokich energiach	 strange  charm	 mion  neutrino mionowe
	 bottom  top(?)	 taon  neutrino taonowe

Nośniki oddziaływań	
oddziaływanie elektrosłabe	foton 
	bozon W  bozon Z 
oddziaływanie silne	gluon 



WSPÓŁCZESNY FIZYCZNY OBRAZ ŚWIATA

KOSMICZNA EWOLUCJA



Próżnia kwantowa

Inflacja

**Pierwotna
nukleosynteza kosmiczna**

Nukleosynteza gwiazdowa



W POSZUKIWANIU ŚLADÓW NASZYCH PRAPOCZĄTKÓW

.....

HISTORIA PIERWOTNEJ NUKLEOSYNTAZY KOSMICZNEJ

jest historią ewolucji Wszechświata od chwili, gdy gęstość materii była równa 10^{14} g/cm³ do czasu ustania reakcji jądrowych.

Nukleosynteza rozpoczęła się w chwili $t = 10^{-4}$ s po Wielkim Wybuchu.



TEZA

**Życie powstało na Ziemi
nie dzięki jakiemuś
nieprawdopodobnemu przypadkowi,
lecz dlatego, że stanowiło**

**prawdziwe
kosmiczne zjawisko**



**Nowa próba
holistycznego ujęcia natury rzeczywistości**

**Wszechświat
sprzyja życiu**

**Trzy elementy:
– prawa fizyki
– ewolucja kosmiczna
– ewolucja biologiczna
są ze sobą ściśle związane.**



Praw fizyki nie można oddzielać od ewolucji kosmicznej: to one wyznaczają strukturę Wszechświata, a więc i jego ewolucję.

Wszechświat stanowi naturalne środowisko życia.

„Jesteśmy zbudowani z gwiazdowego materiału”

/Carl Sagan/

Ewolucja biologiczna jest tylko włóknem ewolucji kosmicznej.



Rozpowszechnienie pierwiastków we Wszechświecie

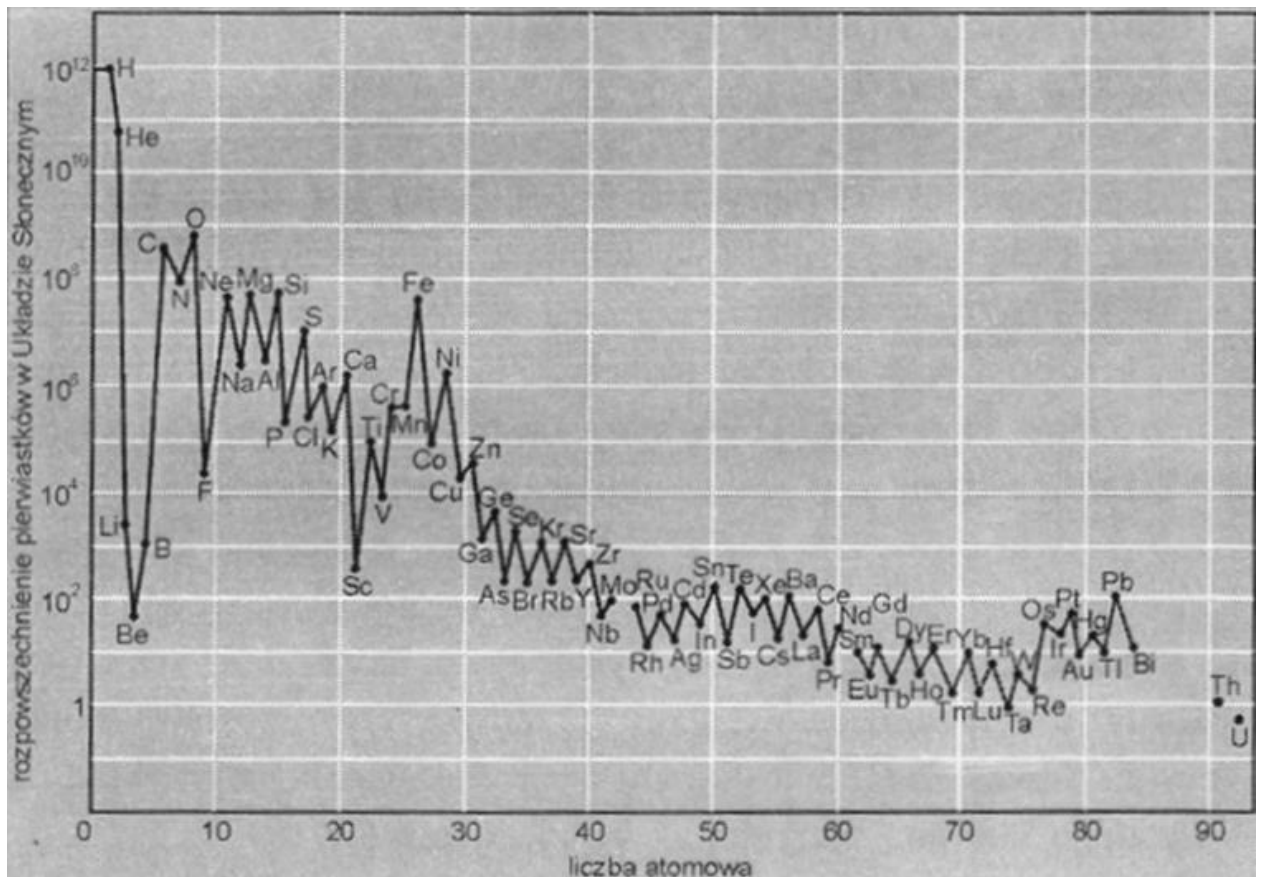




Tableau de Mendeleïev



Période	1A MÉTAUX ALCALINS	2A MÉTAUX ALCALINO-TERREUX	3A HOMOLOGUES DES TERRES RARES	4A	MÉTAUX ET MÉTALLOÏDES TÉTRAVALENTS	MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 3B	MÉTALLOÏDES BIVALENTS 4B	MÉTALLOÏDES TRIVALENTS 5B	6B	7B GAZ RARES	8	9	10					
1	1 H 1,00794									2 He 4,00206								
2	3 Li 6,941	4 Be 9,0122																
3	11 Na 22,9898	12 Mg 24,3050																
4	19 K 39,0983	20 Ca 40,078	21 Sc 44,956	22 Ti 47,88	23 V 50,942	24 Cr 51,996	25 Mn 54,9309	26 Fe 55,847	27 Co 58,9332	28 Ni 58,69	29 Cu 63,546	30 Zn 65,39	31 Ga 69,723	32 Ge 72,61	33 As 74,9216	34 Se 78,96	35 Br 79,904	36 Kr 83,80
5	37 Rb 85,468	38 Sr 87,62	39 Y 88,906	40 Zr 91,224	41 Nb 92,906	42 Mo 95,94	43 Tc (98)	44 Ru 101,07	45 Rh 102,906	46 Pd 106,42	47 Ag 107,868	48 Cd 112,411	49 In 114,82	50 Sn 118,710	51 Sb 121,75	52 Te 127,60	53 I 126,905	54 Xe 131,29
6	55 Cs 132,905	56 Ba 137,327	57 à 71 LANTHANIDES	72 Hf 178,49	73 Ta 180,948	74 W 183,85	75 Re 186,207	76 Os 190,2	77 Ir 192,22	78 Pt 195,08	79 Au 196,967	80 Hg 200,59	81 Tl 204,383	82 Pb 207,2	83 Bi 208,980	84 Po (209)	85 At (210)	86 Rn (222)
7	87 Fr (223)	88 Ra 226,025	89 à 103 ACTINIDES	104 Rf (261,11)	105 Db 262,11	106 Sg 263,12	107 Bh 264,12	108 Hs 265,13	109 Mt 268	110 Uun* 269	111 Uuu* 272	112 Uub* 277						

Numéro atomique
(correspond au nombre
de protons du noyau)

1

H

1,00794

Symbole

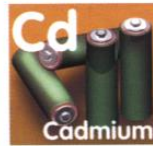
Masse atomique
Les chiffres entre parenthèses
indiquent le nombre de masse
de l'isotope le plus stable.

103

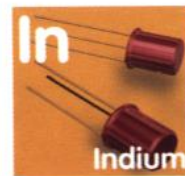
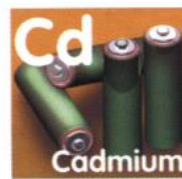
Lr

(260)

*Le nom et le symbole de ces éléments sont provisoires.
D'après Handbook of Chemistry and Physics, 74^{ed} Ed. 1993, CRC Press
et Pure and Applied Chemistry, 1997, 69, 2471



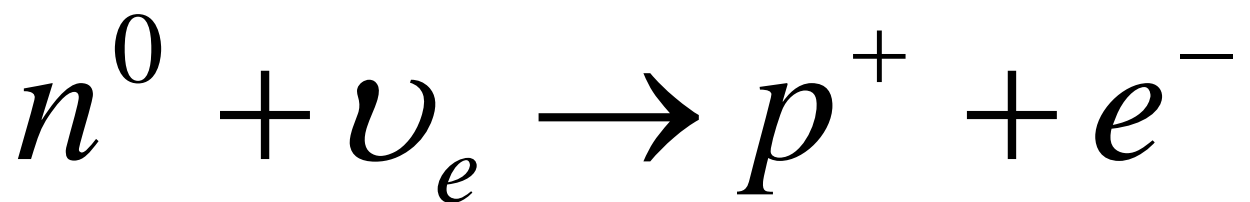
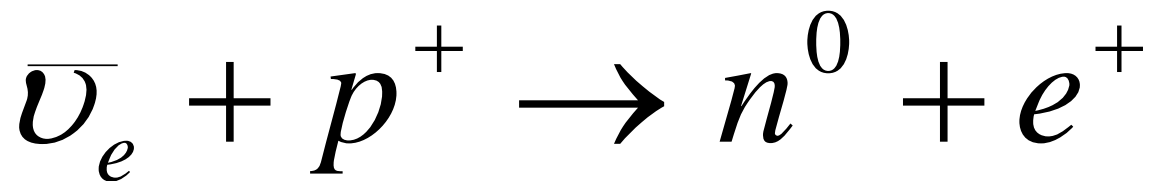
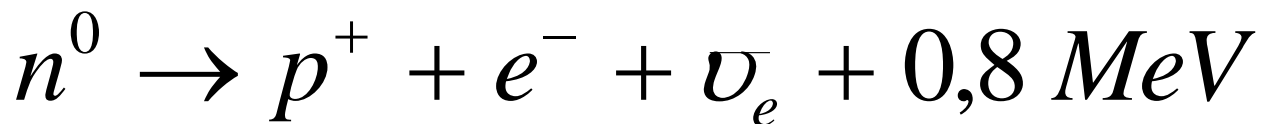
Symboles éléments	C	carbone	F	fluor	K	potassium	Ni	nickel	Ré	rhénium	Tc	technétium	
Ac	actinium	Ca	calcium	Fe	fer	Kr	krypton	No	nobélium	Rf	rutherfordium	Tell	tellure
Ag	argent	Cd	cadmium	Fm	fermium	La	lanthane	Np	neptunium	Rh	rhodium	Th	thorium
Al	aluminium	Ce	cérium	Fr	francium	Li	lithium	O	oxygène	Rn	radon	Ti	titane
Am	américium	Cf	californium	Ga	gallium	Lr	lawrencium	Os	osmium	Ru	ruthénium	Tl	thallium
Ar	argon	Cl	chlore	Gd	gadolinium	Lu	lutécium	P	phosphore	S	soufre	Tm	thulium
As	arsenic	Cm	curium	Ge	germanium	Md	mendélévium	Pa	protactinium	Sb	antimoine	U	uranium
At	astate	Co	cobalt	H	hydrogène	Mg	magnésium	Pb	plomb	Sc	scandium	Uub	ununbium*
Au	or	Cr	chrome	He	hélium	Mn	manganèse	Pd	palladium	Se	sélénium	Uun	ununnilium*
B	bore	Cs	césium	Hf	hafnium	Mo	molybdène	Pm	prométhium	Sg	seaborgium	Uuu	unununium*
Be	béryllium	Cu	cuivre	Hg	mercure	Mt	meitnerium	Po	polonium	Si	silicium	V	vanadium
Bh	bohrium	Db	dubnium	Ho	holmium	N	azote	Pt	platine	Sm	samarium	W	tungstène
Bi	bismuth	Dy	dysprosium	Hs	hassium	Na	sodium	Pr	praseodyme	Sr	strontium	Xe	xénon
Bk	berkélium	Er	erbium	I	iode	Nb	niobium	Pu	plutonium	Sn	étain	Y	yttrium
Br	brome	Es	einsteinium	In	indium	Nd	néodyme	Ra	radium	Sr	strontium	Yb	ytterbium
		Eu	europium	Ir	iridium	Ne	néon	Rb	rubidium	Ta	tantale	Zn	zinc
										Tb	terbium	Zr	zirconium



**Wszystkie jądra pierwiastków lekkich:
deuteru, helu-3, helu-4 i litu-7
powstały tuż po Wielkim Wybuchu.**



Dzięki reakcjom:



**interakcje słabe były
w równowadze przy
 $T > 1 \text{ MeV}$.**



$$\frac{N_n}{N_p} \approx \left(\frac{m_n}{m_p} \right)^{\frac{3}{2}} \exp \left[- \frac{(m_n - m_p) c^2}{k_B T} \right]$$

$$\left(\frac{m_n}{m_p} \right)^{\frac{3}{2}} \approx 1$$

Gdy $k_B T > (m_n - m_p) c^2$

liczby neutronów i protonów we Wszechświecie były prawie identyczne.



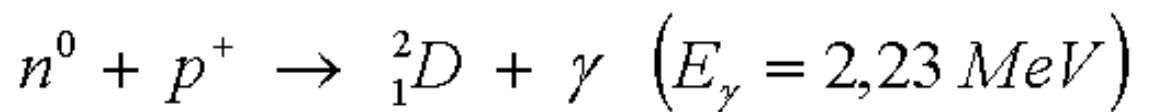
Przesuwanie się punktu równowagi neutronowo-protonowej

t [s]	T [K]	E [MeV]	N_n / N_p
10^{-4}	10^{12}	100	≈ 1
	10^{11}	10	≈ 1
		2,23	$\approx 1/2$
1	10^{10}	1	$\approx 27/100 \approx 1/4$
	$8 \cdot 10^9$	0,8	$\approx 1/5$
	$7 \cdot 10^9$	$\approx 0,7$	$\approx 1/7$
	$5 \cdot 10^9$	$\approx 0,5$	$\approx 1/14$
100	10^9	$\approx 0,1$	$\approx 1/500\,000$

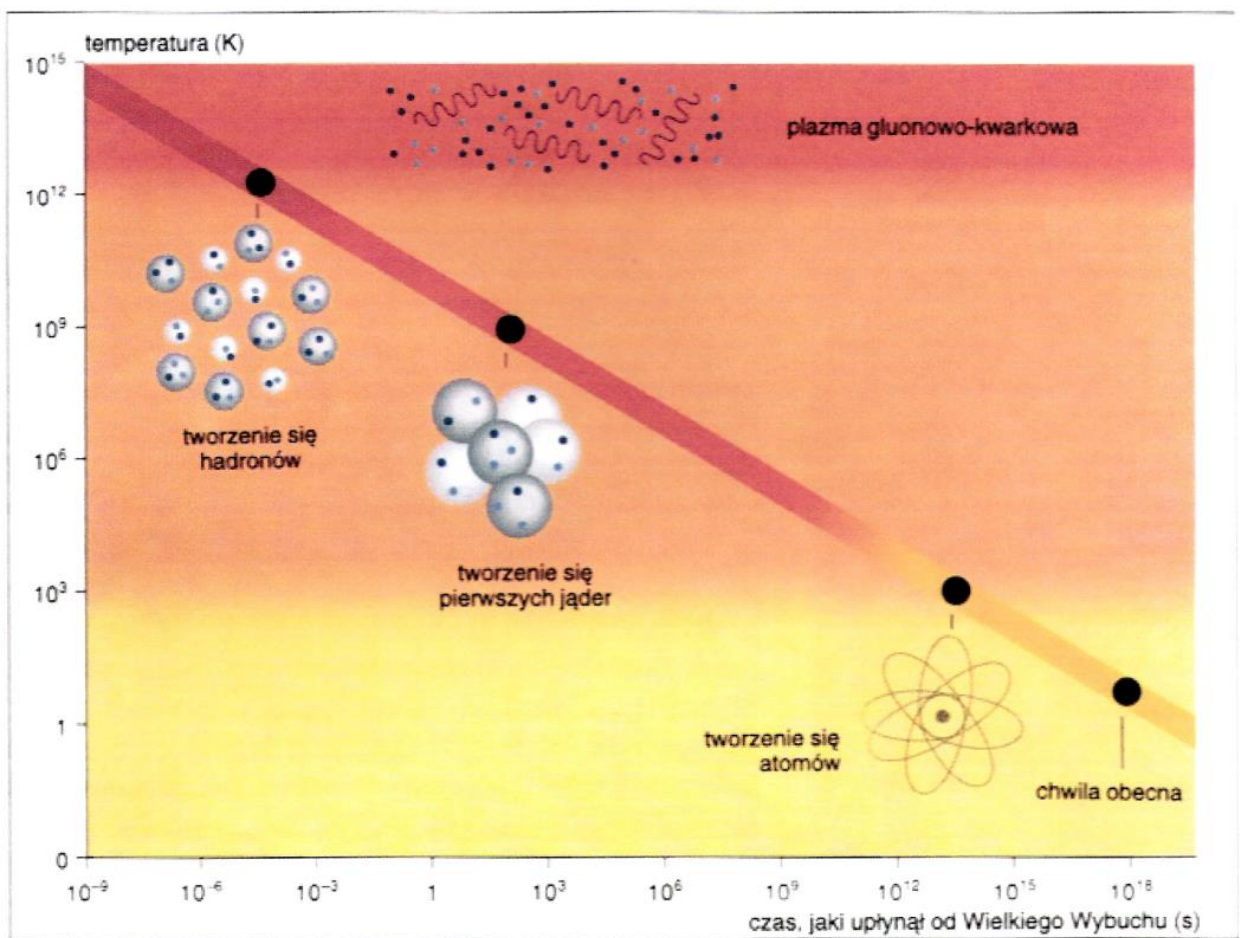
Gdy temperatura Wszechświata

wynosiła $T = 10^{12}$ K (100 MeV),

to $\frac{N_n}{N_p} \approx 1$.



Proces syntezy i dysocjacji jąder deuteru trwał tak długo, jak długo we Wszechświecie istniały fotony o energii 2,23 MeV.





Gdy Wszechświat liczył

$$t \approx 1 \text{ sek}$$

zaszło **zjawisko odprężania
neutrin.**

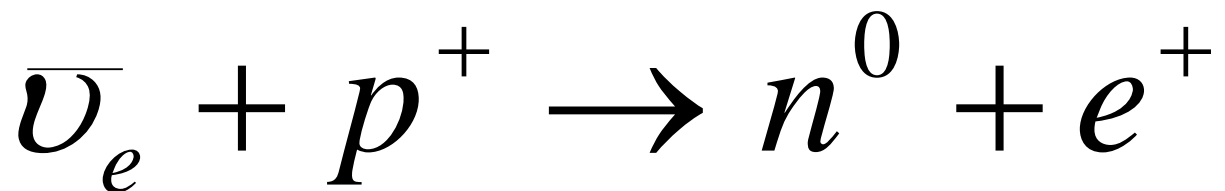
W temperaturze odprężania

$$T_d \approx 1 \text{ MeV}$$

$$\frac{N_n}{N_p} \approx \frac{27}{100}$$

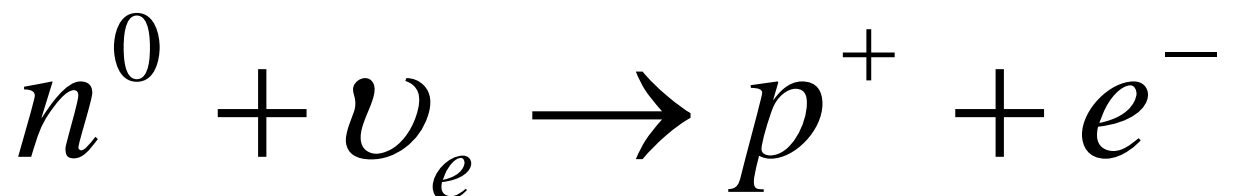
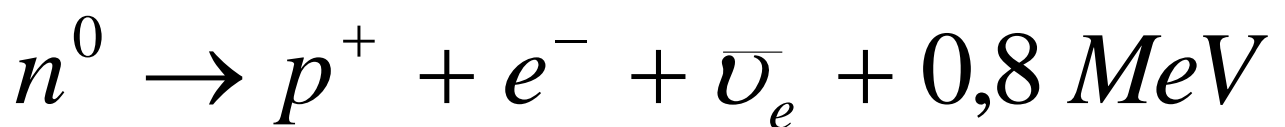


Ponizej T_d reakcje Cowana
i Reinesa



zachodziły zbyt wolno,
żeby zapewnić równowagę.

Reakcje

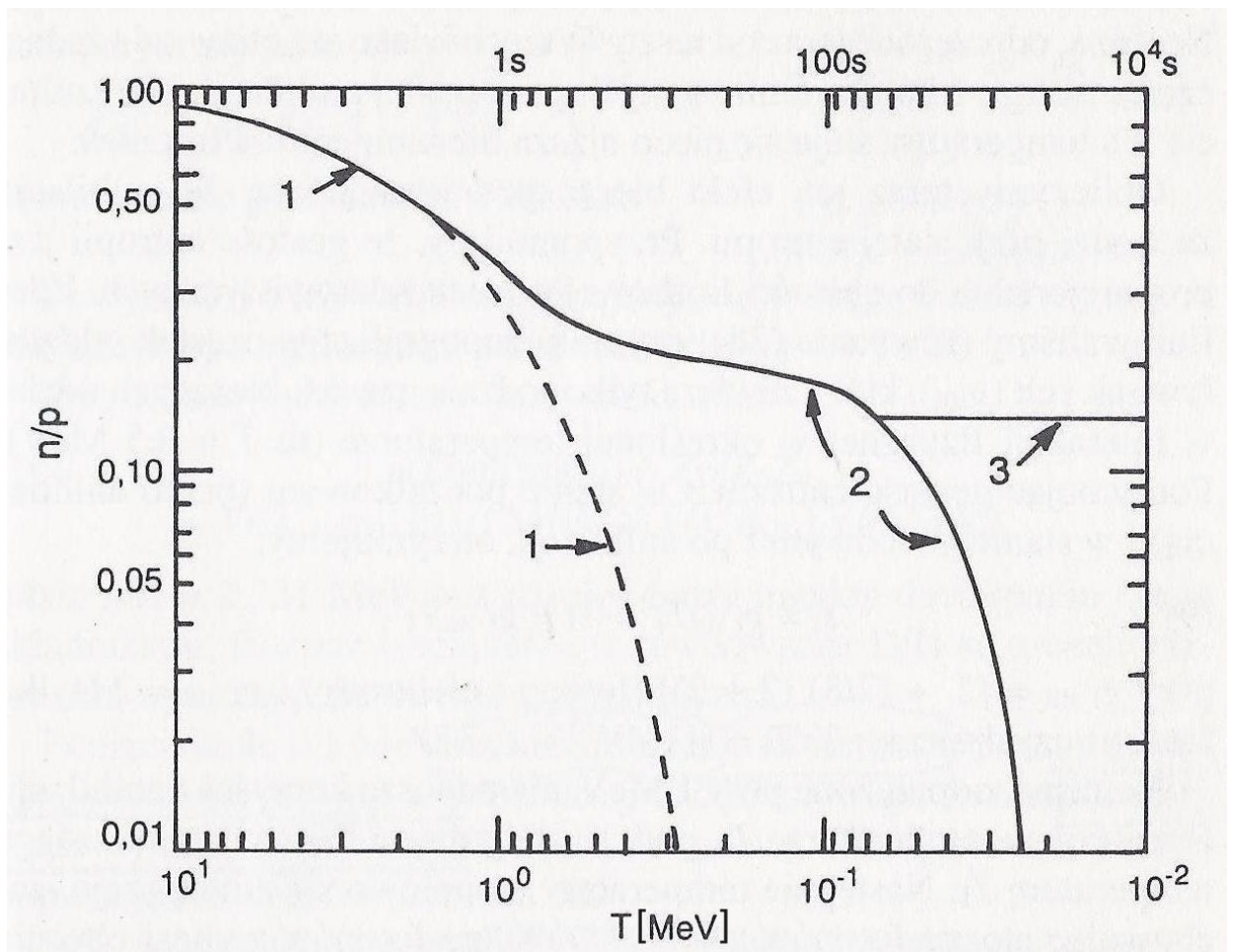


przyspieszały zmniejszanie się
populacji neutronów.



**Po czterech sekundach
nastąpiła anihilacja
elektronu-pozytronu około 0,5 MeV
(masa spoczynkowa elektronu).
Wówczas**

$$\frac{N_n}{N_p} \approx \frac{1}{14}.$$



Los neutronów



Obfitość helu we Wszechświecie zależy od stosunku liczby neutronów do liczby protonów.

Parametr O_{He}

stosowany w tych obliczeniach ma postać:

$$O_{He} = \frac{2 \frac{n}{p}}{1 + \frac{n}{p}}.$$



Przemiany między protonami i neutronami prawie skończyły się, gdy temperatura spadła poniżej 10^{10} K.

O
He

Parametr

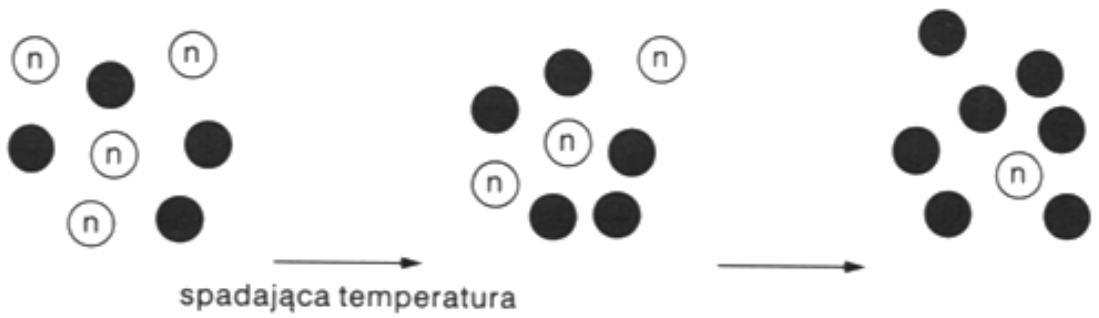
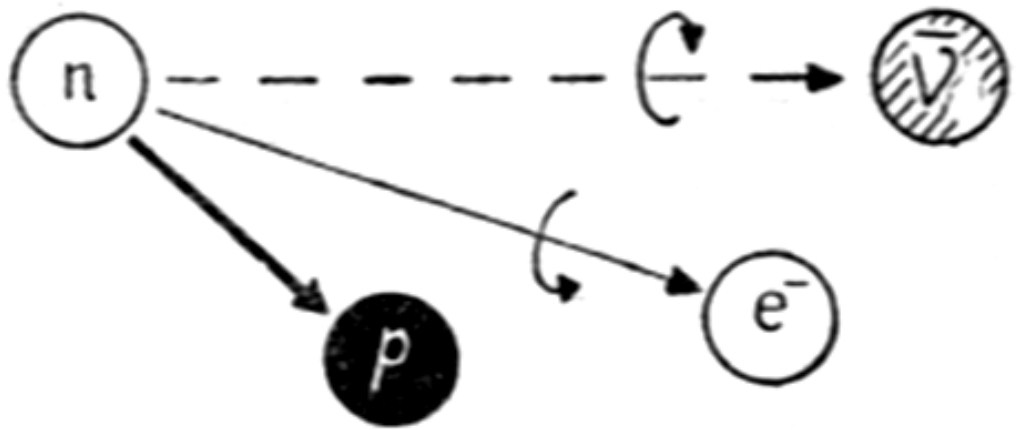
zależy zarówno od szybkości przemiany neutronów w protony i protonów w neutrony (pod wpływem słabych oddziaływań jądrowych), jak i od szybkości ekspansji Wszechświata.



$$\text{Dla } \frac{N_n}{N_p} \approx \frac{1}{7}$$

wartość tego parametru wynosi

$$O_{He} \approx 25\%.$$

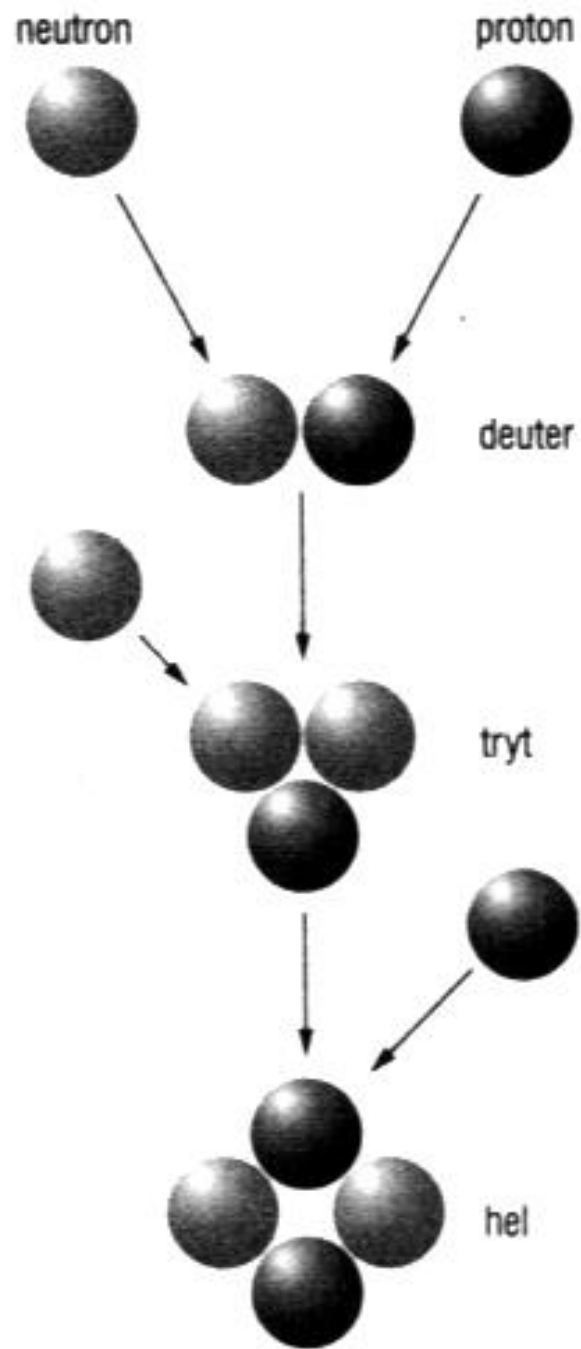




Nukleosynteza jąder lekkich około 0,1 MeV

Wówczas

$$\frac{N_n}{N_p} \approx \frac{1}{500\,000}$$





**Wydaje mi się,
że człowiek nie może żyć
bez TAJEMNICY**



Dziękuję
za uwagę

