



# Dawno temu w kosmosie

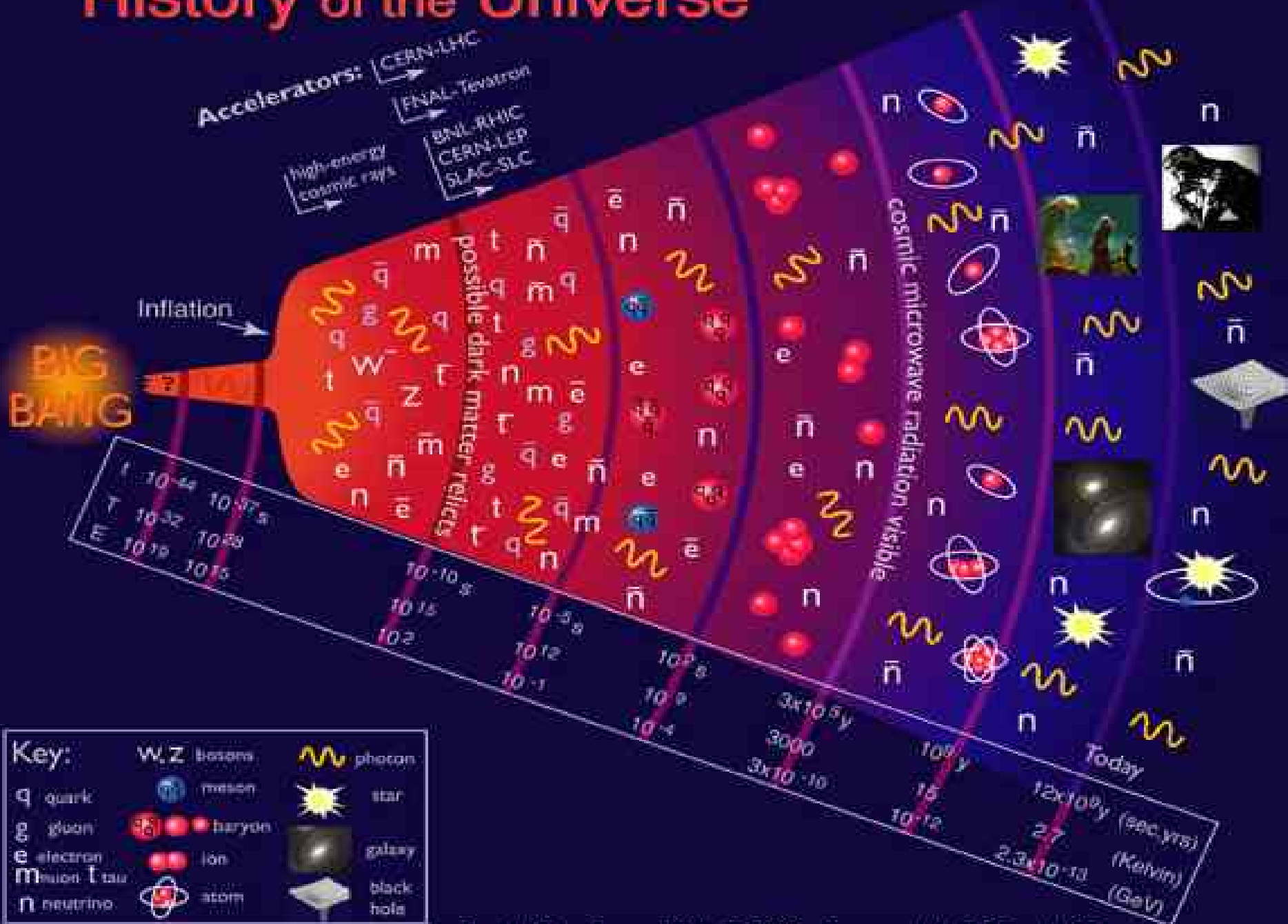


**Krzysztof Turzyński**

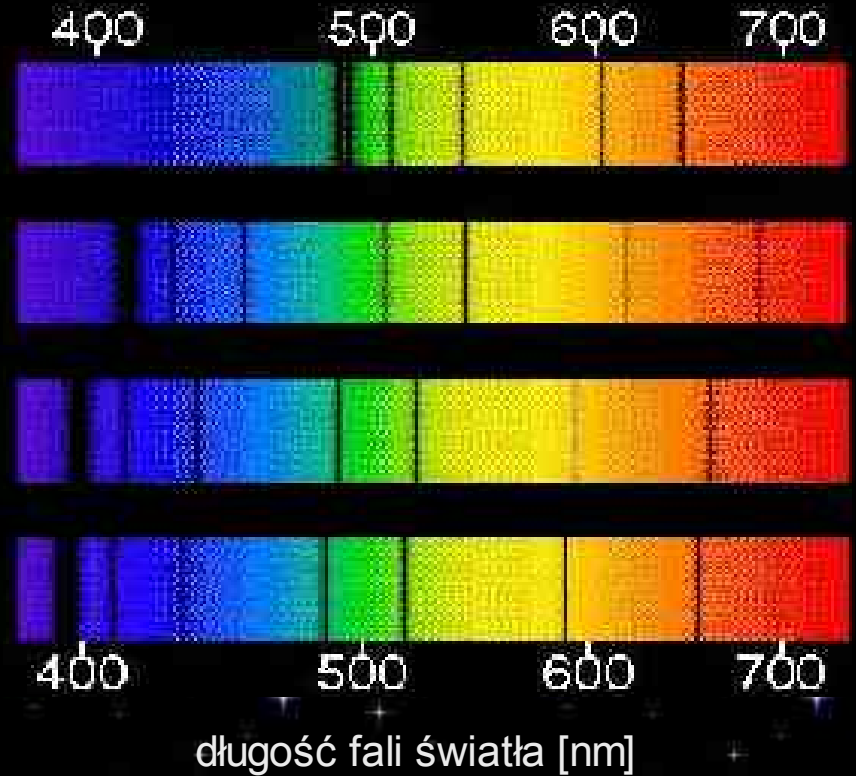
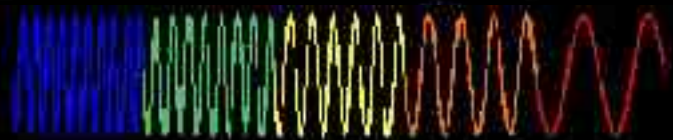
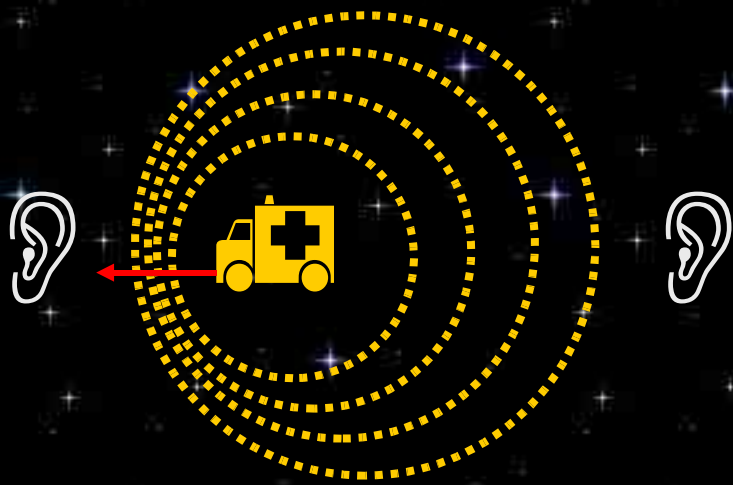
Instytut Fizyki Teoretycznej, Wydział Fizyki UW

animacja: Adam Skuciński

# History of the Universe



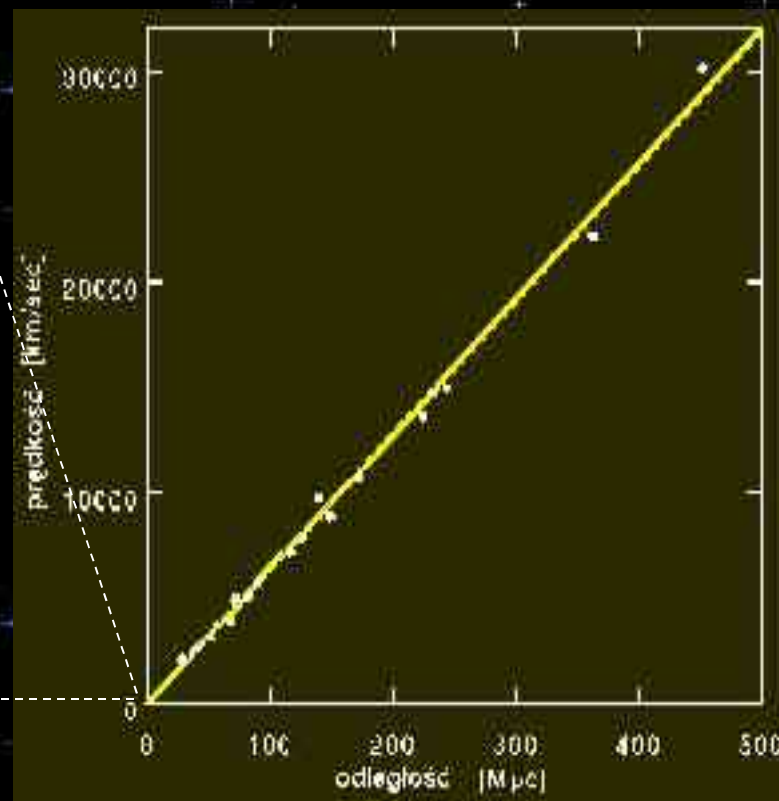
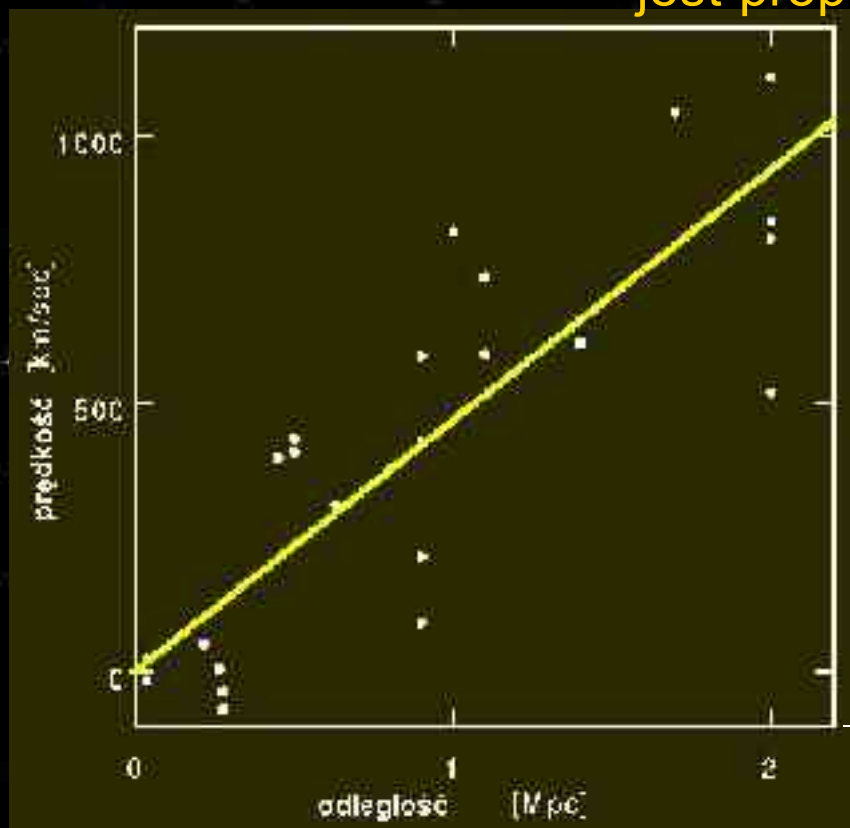
# Efekt Dopplera





# Prawo Hubble'a

Względna prędkość oddalania się galaktyk od „nas”  
jest proporcjonalna do ich odległości

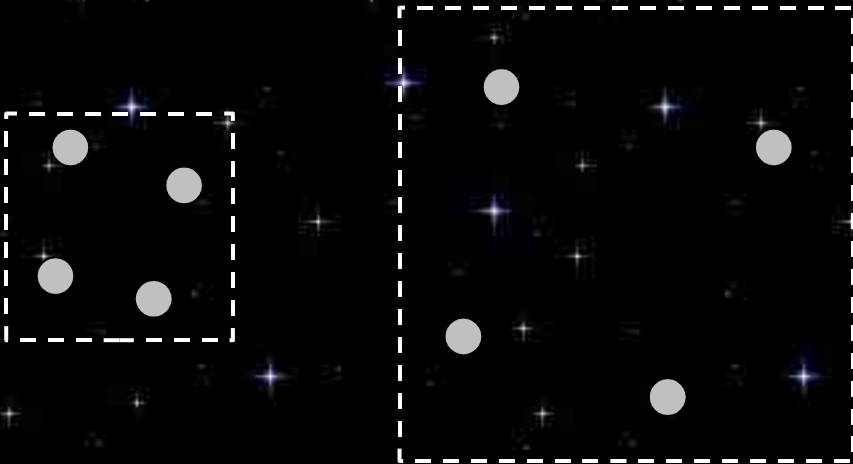


# Ekspansja czyli rozszerzanie

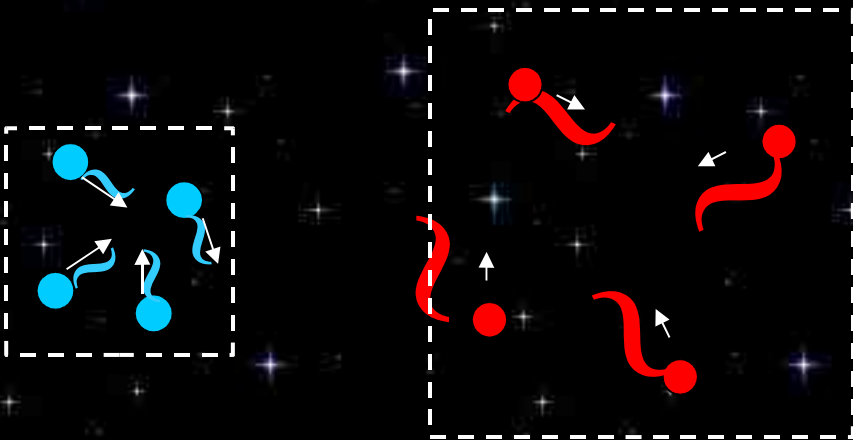


# Ekspansja a ciśnienie

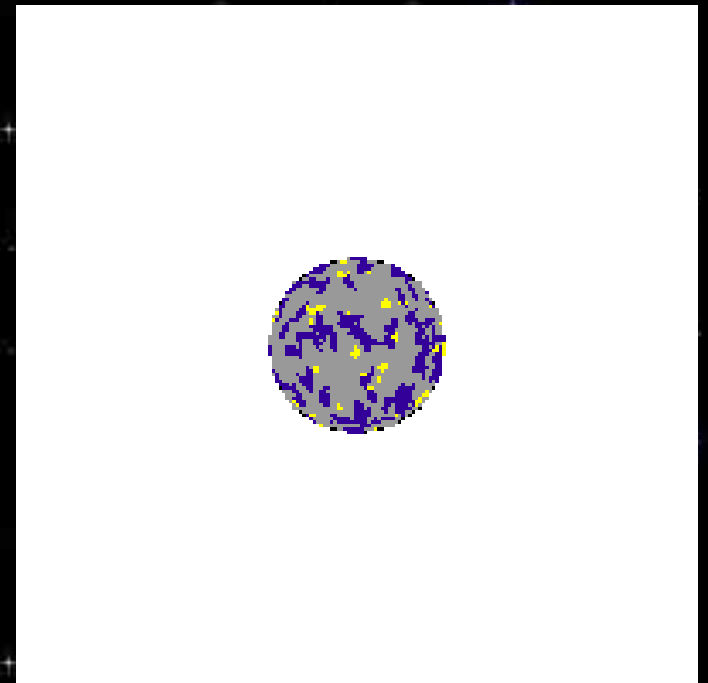
gaz cząstek nierelatywistycznych:  $E=mc^2$



gaz cząstek relatywistycznych:  $E=k_B T$



Paradoksalnie,  
ciśnienie przeciwstawia się  
ekspansji kosmologicznej



# Ekspansja i układy związane

wg  
*Annie Hall*  
Woody'ego Allena

Czemu nie  
odrabiasz lekcji?

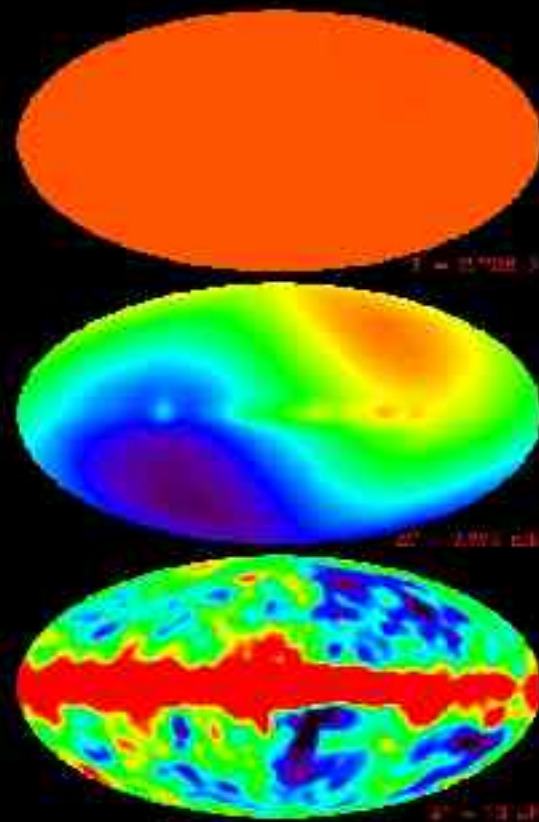
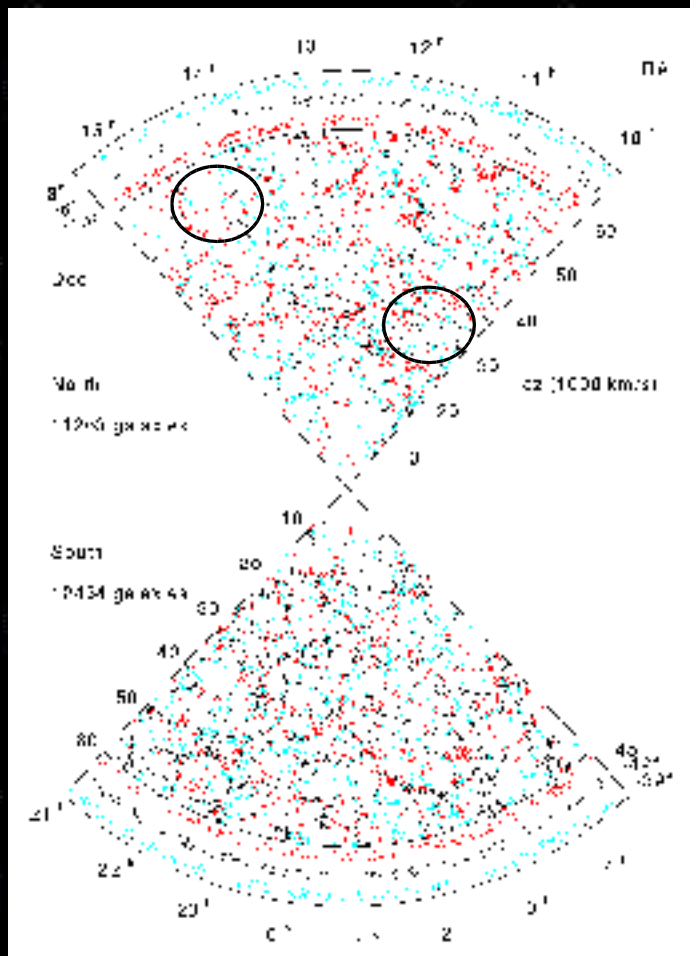


Mamo, Wszechświat się  
rozszerza, któregoś dnia  
wszystko zostanie rozerwane  
na kawałki i to będzie koniec.  
Po co odrabiać lekcje?



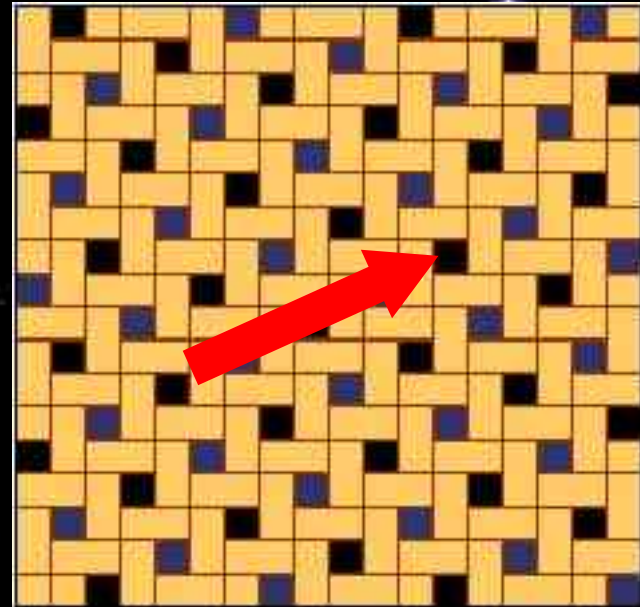
To nie twoja  
sprawa! Mieszkamy  
na Brooklynie,  
Brooklyn się nie  
rozszerza





Wszędzie jest jednorodny i izotropowy

# Izotropowość i jednorodność



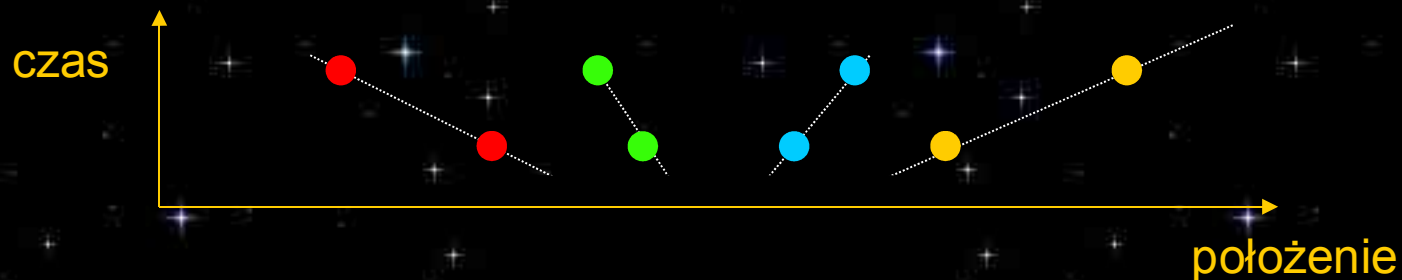
# Równanie Friedmana



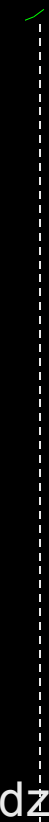
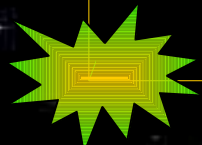
Względny przyrost odległości między ustalonymi punktami we Wszechświecie

jest proporcjonalna

Pierwiastek z gęstości energii we Wszechświecie



odległość między  
dwoma ustalonymi  
niezwiązanymi  
obiektami

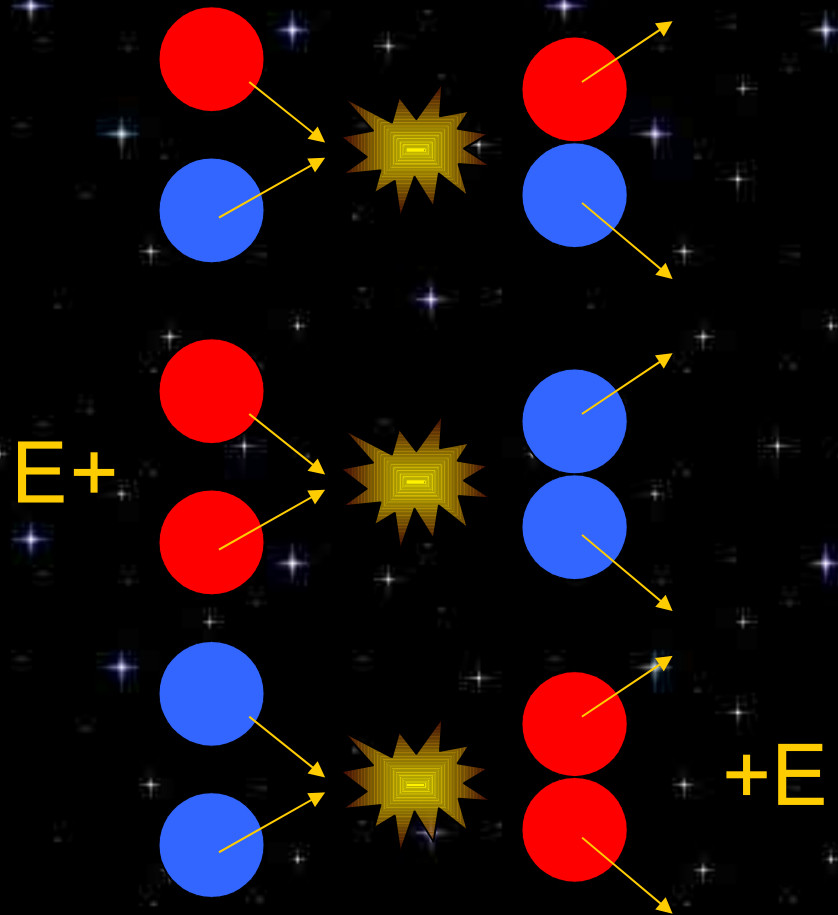
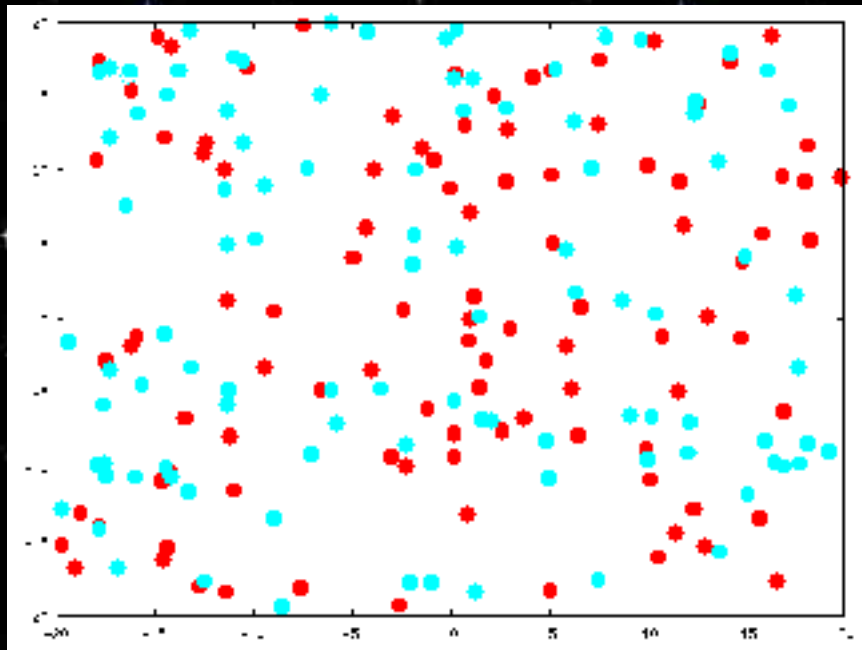


dziś

czas

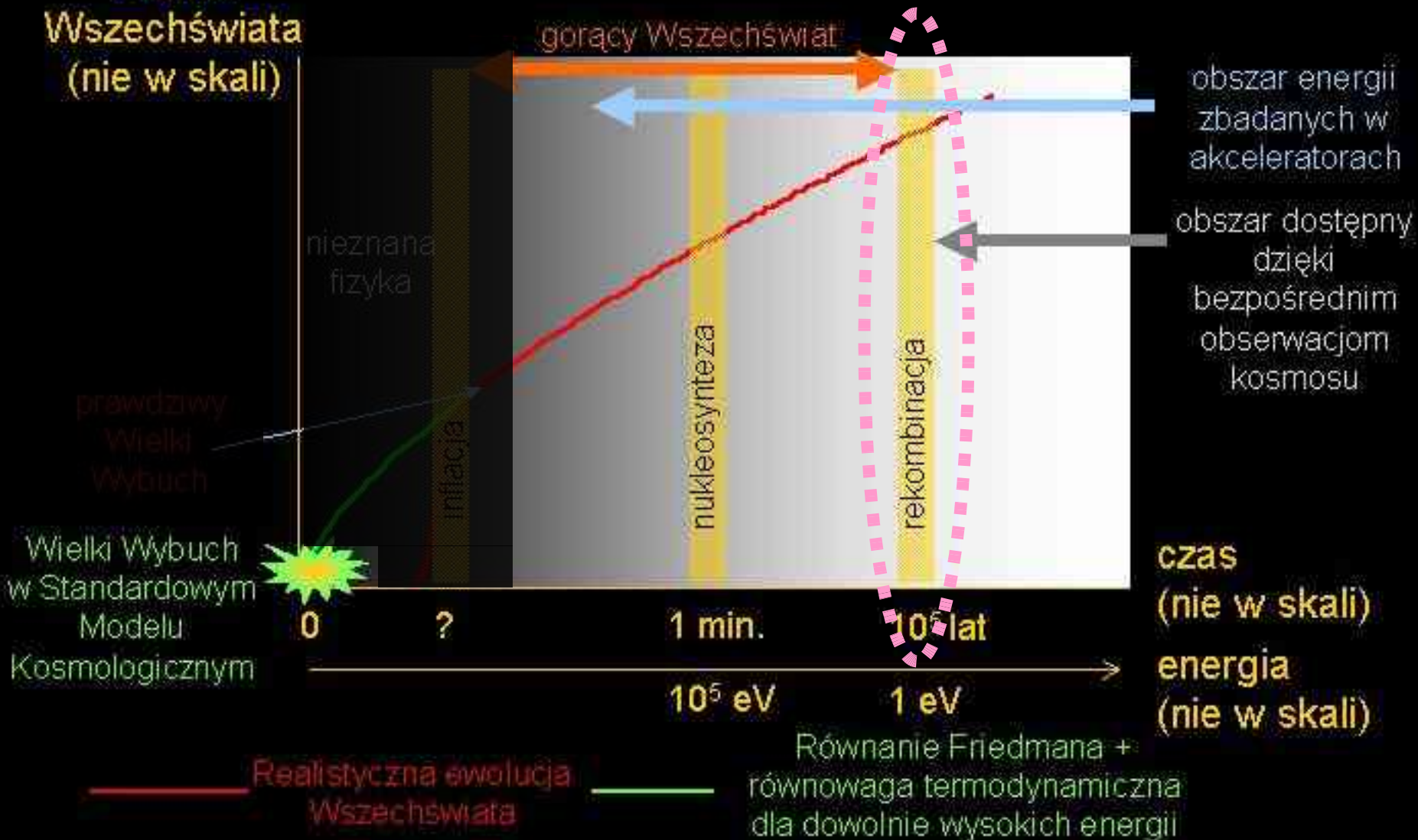
„Wielki Wybuch” w Standardowym Modelu Kosmologicznym

# Oddziaływania - przykład

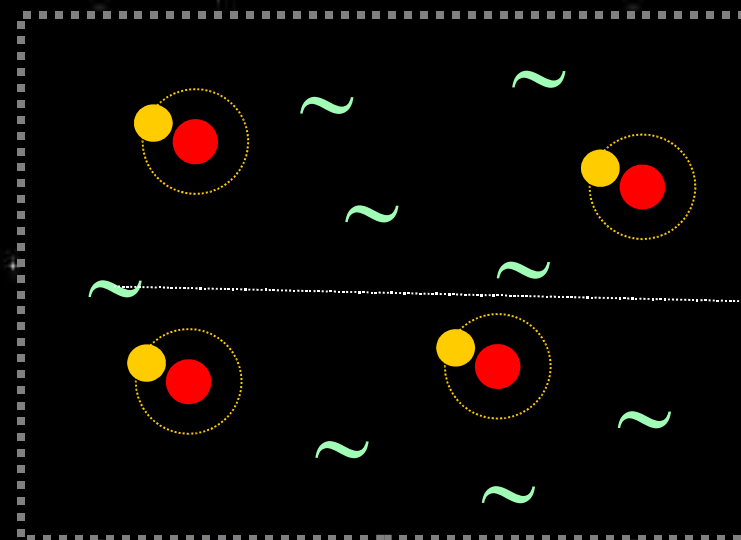
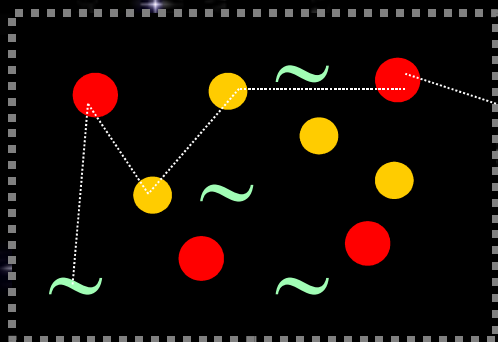


**Przepraszamy  
za usterki**

rozmiar  
Wszechświata  
(nie w skali)



# Rekombinacja

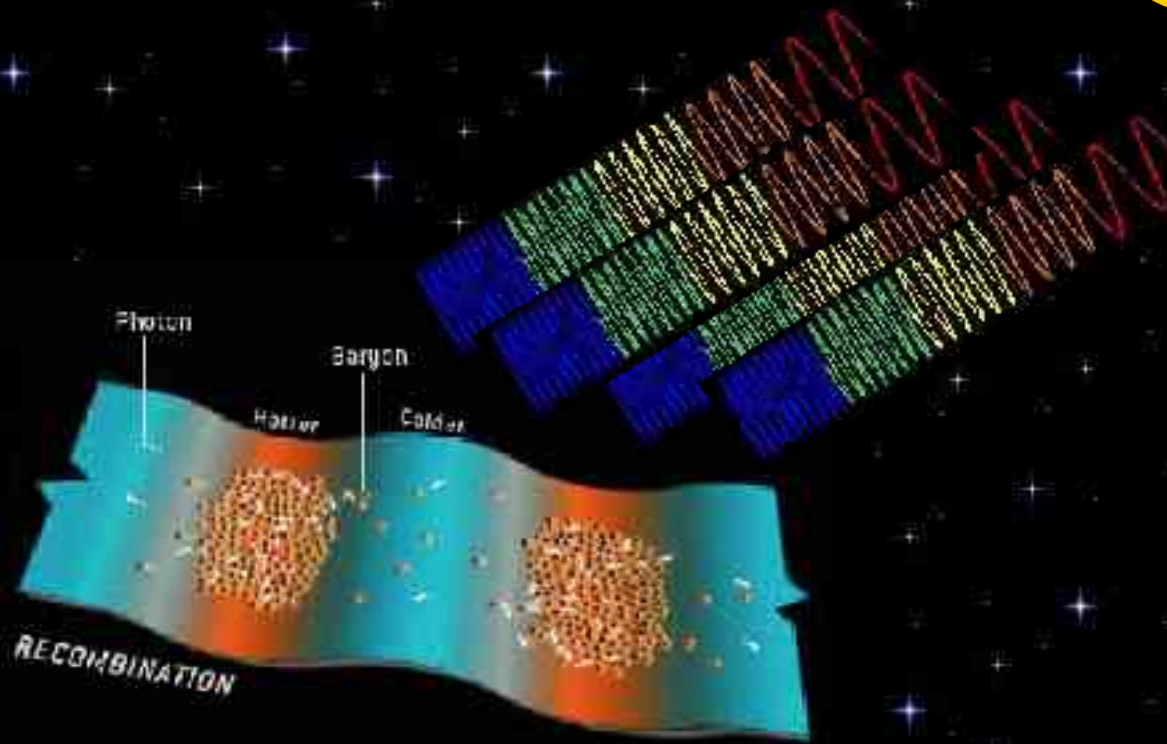


380 000 lat

czas

# Rekombinacja

czas



zaadaptowane z Hu & White, Sci. Am. 2004

położenie

# Rekombinacja – problemy

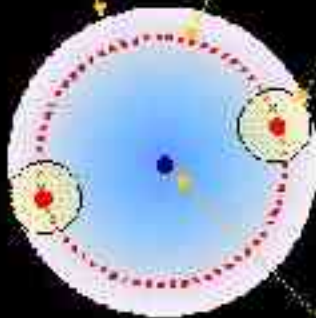
## 1. Dlaczego promieniowanie tła jest tak izotropowe?

granica obszaru, który mógł wywrzeć wpływ na nas w obecnej chwili

granica obszaru, który możemy obserwować (powierzchnia rekombinacji)

granica obszaru, który mógł wywrzeć wpływ na dany punkt powierzchni rekombinacji

obszar połączony przyczynowo: 1 stopień

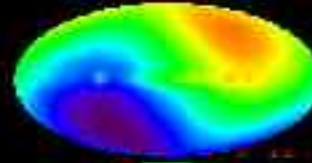


my teraz

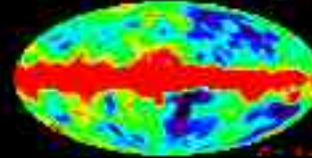
## 2. Jakie jest źródło małych niejednorodności?



OK: jednorodność i izotropowość



OK: ruch względny Drogi Mlecznej



???

$$\Delta T/T \sim 10^{-5}$$

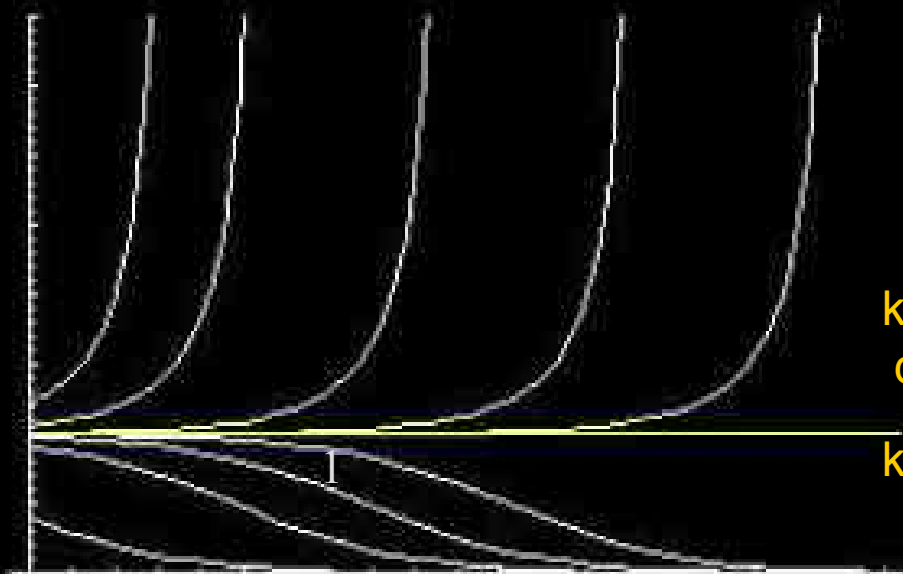
# Rekombinacja – problemy

3. Dlaczego we Wszechświecie nie ma żadnych „śmieci” z przeszłości?

4. Dlaczego Wszechświat jest tak płaski?

Dziś:  $\Omega = 1.02 \pm 0.02$

$\Omega$



krzywizna  
dodatnia

krzywizna  
ujemna

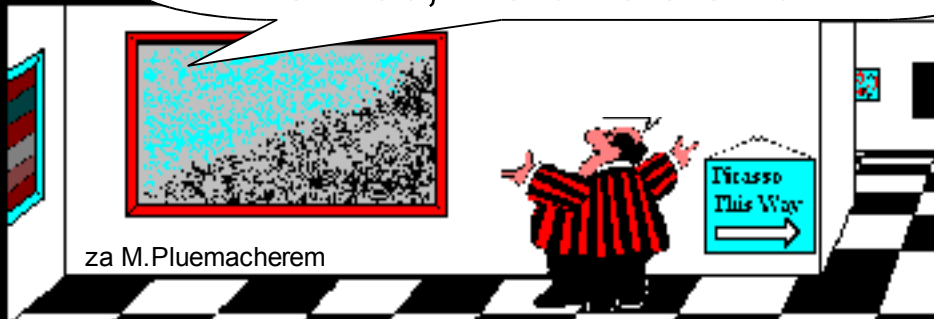
rozmiar Wszechświata



# Rekombinacja – problemy

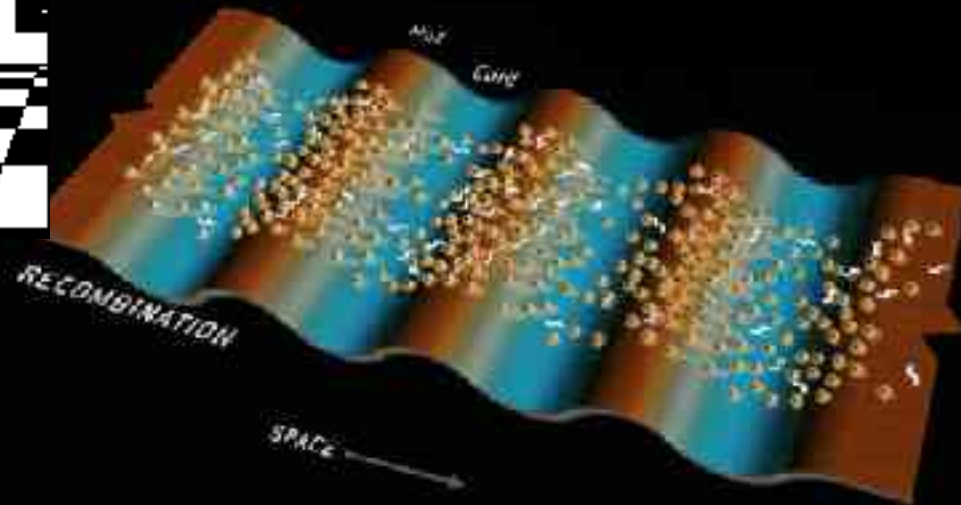
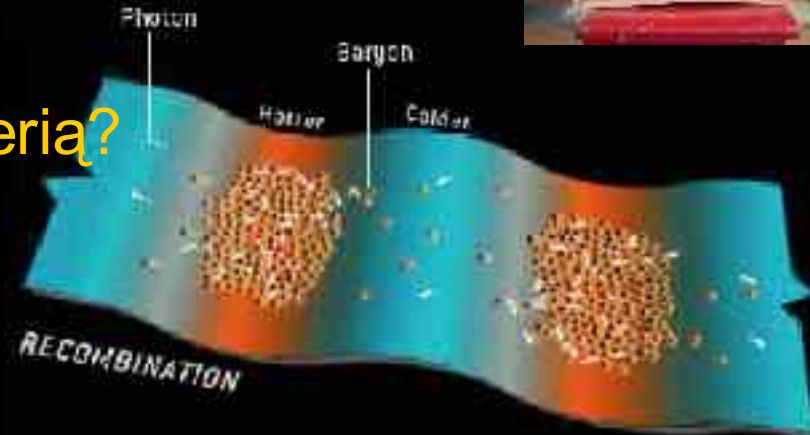
5. Dlaczego Wszechświat jest wypełniony materią, a nie antymaterią?

Zrujnowane! Ktoś dorysował niebieską kropkę! Teraz to śmieć, nie dzieło sztuki!



6. Z czego zbudowana jest materia niebarionowa?

7. Co składa się na pozostałą energię Wszechświata?



# Problem horyzontu

## Rekombinacja – problemy

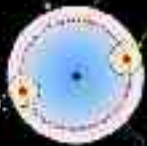
1. Dlaczego promieniowanie tła jest tak izotropowe?

granica obszaru, który mógłby wywarć wpływ na pole w danym punkcie

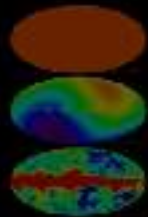
granica obszaru, który mógłby wywarć wpływ na pole w danym punkcie (powierzchnia sferoidalna)

granica obszaru, który mógłby wywarć wpływ na pole w danym punkcie (powierzchnia sferoidalna)

obszar połączony przyczynowo: 1 stopień



tytuł



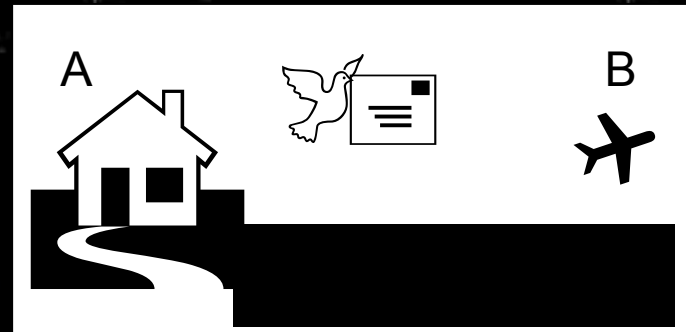
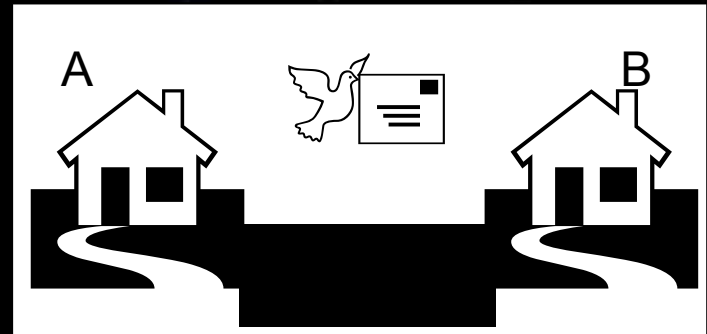
niejednorodności

niejednorodności

199

$$\Delta T/T \sim 10^{-5}$$

2. Jakle jest źródło masywnej niejednorodności?



# Problem horyzontu?

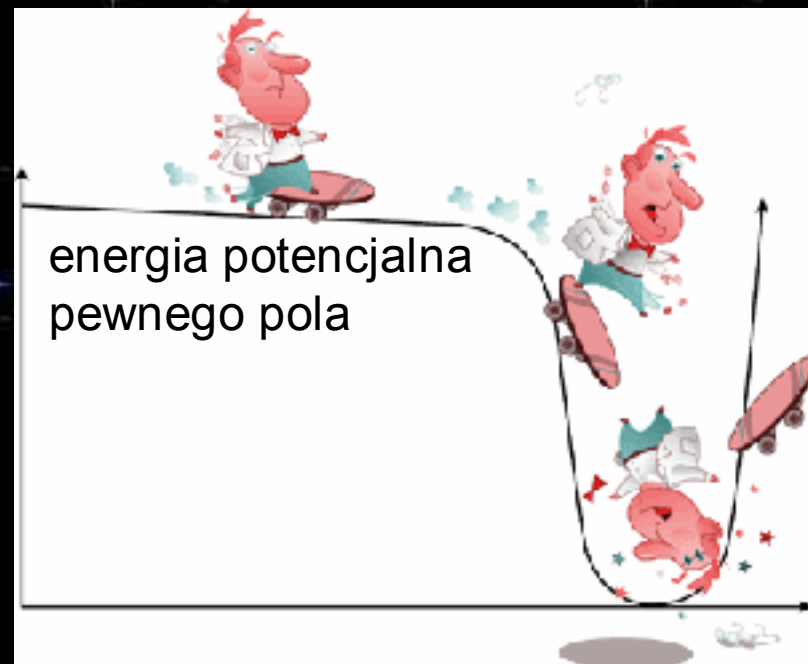
Gdyby Wszechświat był wypełniony jakąś substancją o ujemnym ciśnieniu, to mógłby się bardzo szybko rozszerzać!

### Ekspansja a ciśnienie

gaz cząstek nierelatywistycznych:  $E=mc^2$

Paradoksalnie, ciśnienie przeciwstawia się ekspansji kosmologicznej

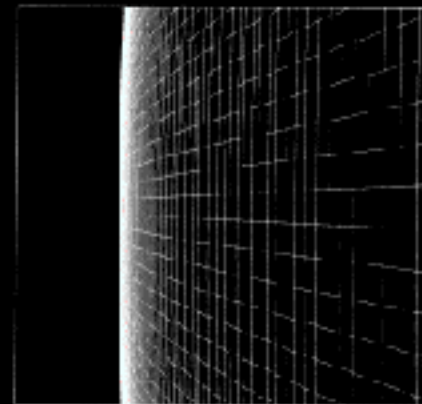
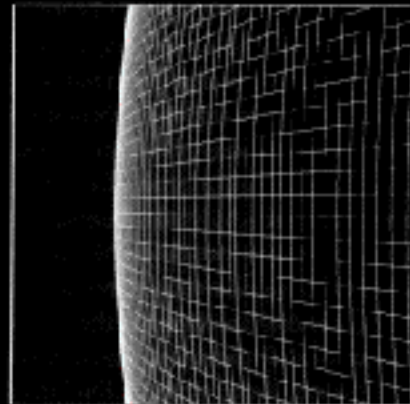
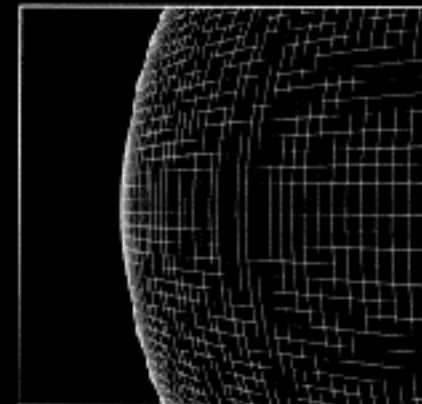
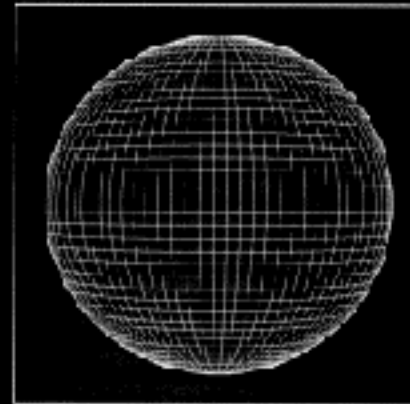
gaz cząstek relatywistycznych:  $E=hc/\lambda$



# Problem „śmieci” i płaskości?

## Rekombinacja – problemy

3. Dlaczego we Wszechświecie nie ma żadnych „śmieci” z przeszłości?
4. Dlaczego Wszechświat jest tak płaski? -  
Dzisiaj:  $\Omega = 1.00 \pm 0.02$



# Problem struktury?

## Rekombinacja – problemy

1. Dlaczego promieniowanie tła jest tak izotropowe?

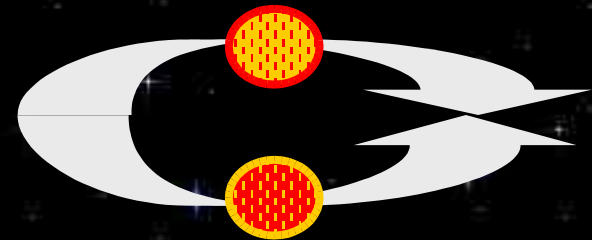
2. Jakle jest źródło małych niejednorodności?

obszar połączony przyczynowo: 1 stopień

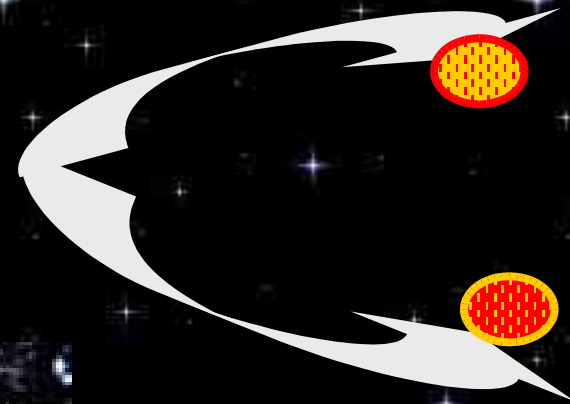
$\Delta T/T \sim 10^{-5}$

The diagram shows a circular representation of the sky. Two dashed lines represent the causal horizons at the time of recombination. The region between them is labeled 'obszar połączony przyczynowo: 1 stopień'. To the right, three small maps show temperature fluctuations: a smooth orange map, a noisy map, and a map with a grid pattern. The text 'granicz obszaru, który mógł wywarć wpływ na rolę w anizotropii tła?' is written twice, once above each horizon line. The equation  $\Delta T/T \sim 10^{-5}$  is at the bottom.

„zwykła” próżnia



próżnia w rozszerzającym się Wszechświecie



# I to jest właśnie inflacja...



znane  
wiadome:

nieznane  
wiadome:

znane  
niewiadome:

nieznane  
niewiadome:

Inflacja jest dobrą kandydatką na mikroskopową teorię wyjaśniającą obserwowane cechy Wszechświata

Który z istniejących modeli inflacji jest tym właściwym? Jak sprytnie połączyć inflację z resztą fizyki cząstek?



Co przyniosą bardziej dokładne pomiary w najbliższych latach (sonda PLANCK od 2007)?

rozmiar  
Wszechświata  
(nie w skali)

