

# Некоторые концептуальные проблемы стандартной космологической модели

---

**Ю.В. Барышев**

Астрономический институт

Санкт-Петербургского государственного университета

- 
- Расширение пространства в модели Фридмана;
  - Проблема сохранения энергии в расширяющемся пространстве;
  - Ньютоновская форма релятивистского уравнения Фридмана;
  - Космологическое красное смещение (эффект Леметра);
  - Космологическое гравитационное смещение (эффект Бонди);
  - Парадокс Хаббла-ДеВокулера;
  - Проблема квантовой природы гравитационного взаимодействия.

# Лев Давидович Ландау (1908 – 1968)

---



*«Космологи часто  
ошибаются, но никогда  
не сомневаются»*

# Ричард Филлипс Фейнман (1918 – 1988)

---



«Science is  
a culture of doubt»

«Knowledge can progress only if people have open minds and  
test their ideas. So far so good.»

# Уравнения Эйнштейна и тождество Бианки

---

$$R^{ik} - \frac{1}{2} g^{ik} R = \frac{8\pi G}{c^4} (T_m^{ik} + T_{de}^{ik})$$

$$(T^{ik})_{;k} = (T_m^{ik} + T_{de}^{ik})_{;k} = 0$$

# Космологический принцип Эйнштейна

---

$$\varepsilon(r, t) = \varepsilon(t) \qquad p(r, t) = p(t)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_m + \varepsilon_{de} \qquad p = p_m + p_{de}$$

$$p = \gamma \rho c^2$$

$$p_m = \beta \varepsilon_m \quad 0 \leq \beta \leq 1 \qquad p_{de} = w \varepsilon_{de} \quad -1 \leq w < 0$$



# Метрика Робертсона-Уолкера

---

$$ds^2 = c^2 dt^2 - S(t)^2 d\chi^2 - S(t)^2 I_k(\chi)^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2)$$

$$I_k(\chi) = \sin \chi, \chi, \sinh \chi \quad \text{for} \quad k = 1, 0, -1$$

$$r = S(t) \cdot \chi$$



# Внешнее расстояние

---

$$ds^2 = c^2 dt^2 - S(t)^2 \frac{d\mu^2}{1 - k\mu^2} - S(t)^2 \mu^2 (d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2)$$

$$l = S(t) \cdot \mu$$

$$r = S(t) \cdot I_k^{-1}(l / S)$$

# Точное соотношение скорость-расстояние в модели Фридмана

---

$$V_{\text{exp}} = \frac{dr}{dt} = \frac{dS}{dt} \chi = \frac{dS}{dt} \frac{r}{S} = H(t) r = c \frac{r}{r_H}$$

$$H(t) = \dot{S} / S$$

$$r_H = c / H(t)$$

# Уравнения Фридмана

$$T_k^i = \text{diag}(\varepsilon, -p, -p, -p)$$

$$\frac{\dot{S}^2}{S^2} + \frac{k c^2}{S^2} = \frac{8\pi G}{3c^2} \varepsilon \qquad 2\frac{\ddot{S}}{S} + \frac{\dot{S}^2}{S^2} + \frac{k c^2}{S^2} = -\frac{8\pi G}{c^2} p$$

$$3\frac{\dot{S}}{S} = -\frac{\dot{\varepsilon}}{\varepsilon + p}$$

Уравнения Фридмана для масштабного фактора  $S(t)$

$$H^2 - \frac{8\pi G}{3} \rho = -\frac{kc^2}{S^2} \quad \ddot{S} = -\frac{4\pi G}{3} \left(\rho + \frac{3p}{c^2}\right) S$$

$$1 - \Omega = -\Omega_k \quad q = \frac{1}{2} \Omega \left(1 + \frac{3p}{\rho c^2}\right)$$

$$H = \dot{S} / S$$

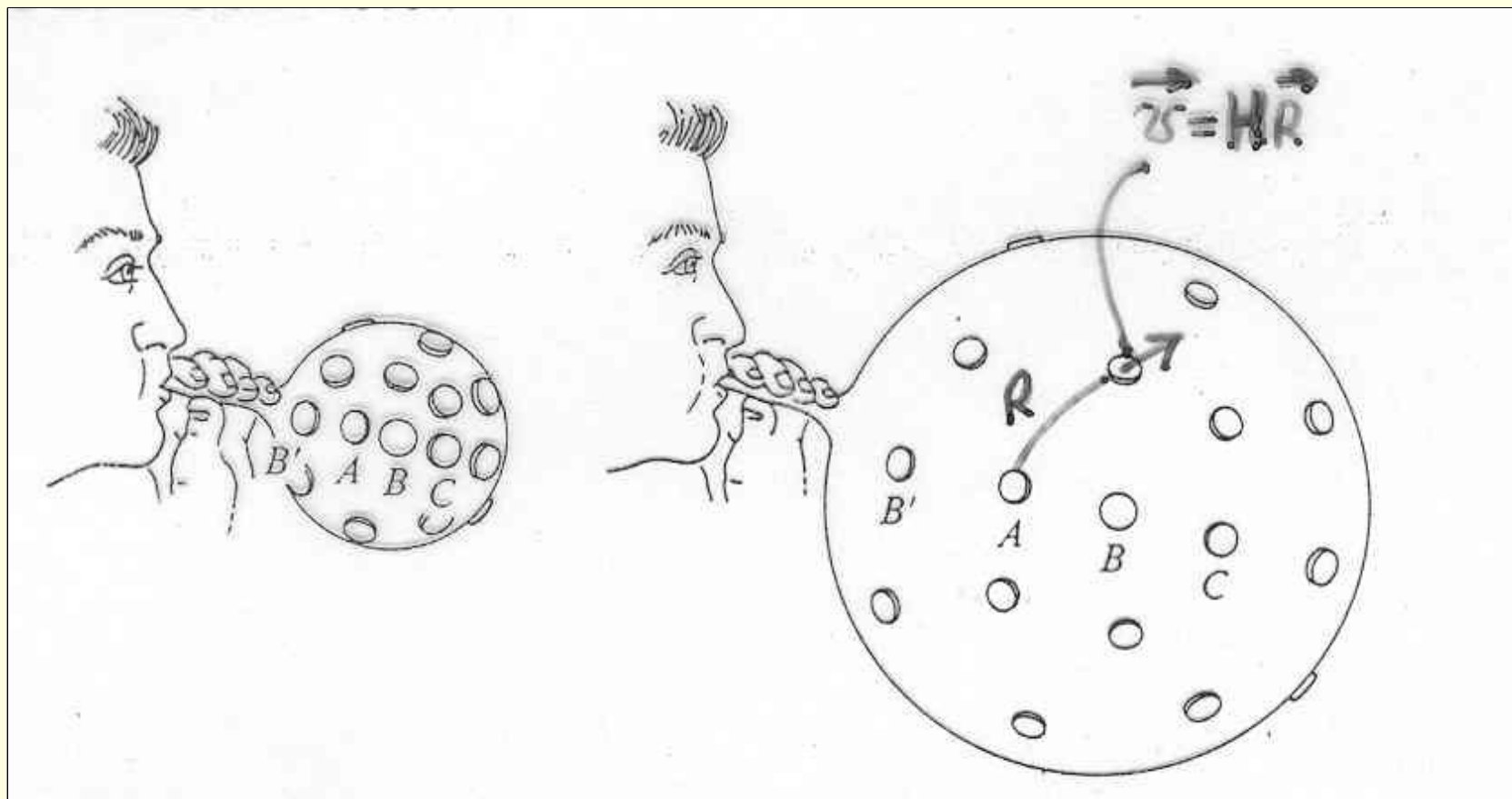
$$\rho_{crit} = 3H^2 / 8\pi G$$

$$\Omega = \rho / \rho_{crit}$$

$$\Omega_k = kc^2 / S^2 H^2$$

$$q = -\ddot{S} S / \dot{S}^2$$

# Физический смысл расширения пространства



Publ. Astron. Soc. Australia, 24, p.95-102, 2007

---

## Expanding Space: the Root of all Evil?\*

*Matthew J. Francis<sup>1,4</sup>, Luke A. Barnes<sup>1,2</sup>, J. Berian James<sup>1,3</sup> & Geraint F. Lewis<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Institute of Astronomy, School of Physics, University of Sydney, NSW 2006, Australia

<sup>2</sup>Institute of Astronomy, Madingley Rd, Cambridge, UK

<sup>3</sup>Institute for Astronomy, Blackford Hill, Edinburgh EH9 3HJ, U.K.

<sup>4</sup>Email: [mfrancis@physics.usyd.edu.au](mailto:mfrancis@physics.usyd.edu.au)

**Abstract:** While it remains the staple of virtually all cosmological teaching, the concept of expanding space in explaining the increasing separation of galaxies has recently come under fire as a dangerous idea whose application leads to the development of confusion and the establishment of misconceptions.

---

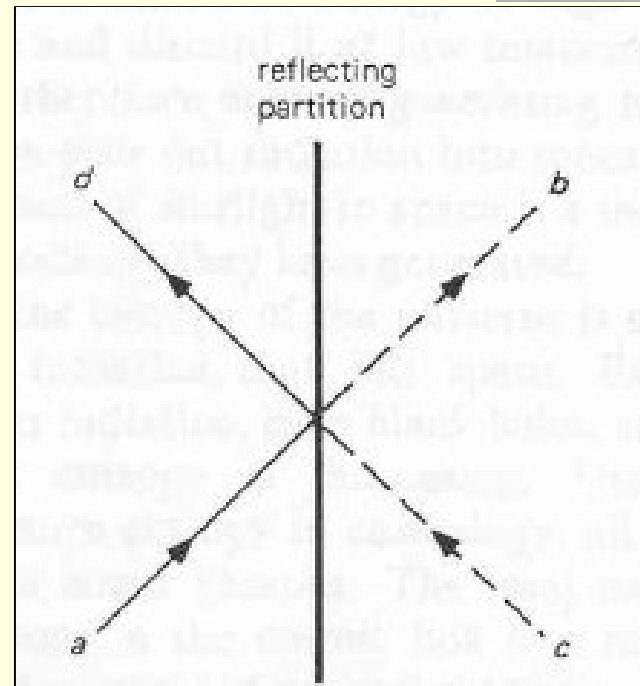
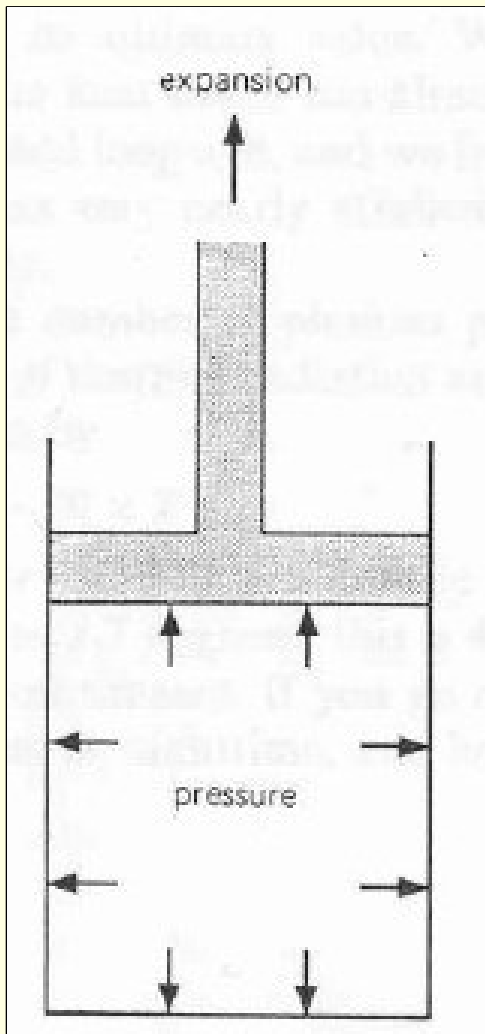
Martin Rees & Steven Weinberg (1993) state

...how is it possible for space, which is utterly empty, to expand? How can nothing expand? The answer is: space does not expand. Cosmologists sometimes talk about expanding space, but they should know better.

while being told by Harrison (2000) that

expansion redshifts are produced by the expansion of space between bodies that are stationary in space

**Edward Harrison, “*Cosmology: the science of the Universe*”, Cambridge Univ. Press, 2000**



“The conclusion, whether we like it or not, is obvious: energy in the Universe is not conserved.”



# Проблема сохранения энергии в расширяющемся пространстве

---

$$(T^{ik})_{;k} = (T_m^{ik} + T_{de}^{ik})_{;k} = 0$$

$$3 \frac{\dot{S}}{S} = - \frac{\dot{\varepsilon}}{\varepsilon + p} \quad dE + p dV = 0$$

$$dE = d(\varepsilon V) = d(\rho c^2 V)$$

$$V = \text{const} \times S^3$$

# Проблема сохранения энергии в расширяющемся пространстве

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL, 446:63–66, 1995 June 10

© 1995 The American Astronomical Society. All rights reserved. Printed in U.S.A.

## MINING ENERGY IN AN EXPANDING UNIVERSE

EDWARD R. HARRISON

Department of Physics and Astronomy, University of Massachusetts, Amherst, MA 01003

*Received 1994 April 4; accepted 1994 December 13*

### ABSTRACT

In principle, the expansion of the universe can be harnessed to provide energy. In a gedankenexperiment, energy is gained by connecting together widely separated bodies with strings. The tension and the energy generated are calculated for single strings. Mining energy in an expanding universe in this way raises unresolved issues concerning the conservation of energy. Apparently, the tethered-body experiment delivers “nascent” energy that previously did not exist in any identifiable and quantifiable form. It is argued that energy in a homogeneous and unbounded universe, in general, is not conserved on the cosmic scale.

*Subject headings:* cosmology: theory — relativity

# Псевдотензор энергии-импульса гравитационного поля

---

$$(T^{ik})_{;k} = \frac{1}{\sqrt{-g}} \frac{\partial(\sqrt{-g} T^{ik})}{\partial x^k} - \frac{1}{2} \frac{\partial g_{kl}}{\partial x_i} T^{kl} = 0$$

«В таком виде, однако, это уравнение, вообще говоря, не выражает закона сохранения чего бы то ни было.»

(Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц «Теория поля», п.96,  
стр.358 )

# Энергия в сопутствующем шаре

---

$$E(r, t) = \int_0^r T_0^0 dV = \frac{4\pi}{3} \varepsilon(t) S^3(t) \chi^3 \sigma_k(\chi)$$

$$E(r, t) = \frac{4\pi}{3} \rho(t) c^2 r^3(t) \sigma_k(\chi) \propto S^{-3\gamma}(t)$$

$$E_{dust}(t) \propto const$$

$$E_{rad}(t) \propto S^{-1}(t)$$

$$E_{vac}(t) \propto S^{+3}(t)$$

# Ньютоновская форма релятивистского уравнения Фридмана

$$\frac{d^2 r}{dt^2} = -\frac{G M_g(r)}{r^2}$$

$$M_g(r) = -\frac{4\pi}{3} \left(\rho + \frac{3p}{c^2}\right) r^3$$

$$r = S(t) \cdot \chi$$

$$M_g(r) = \frac{4\pi}{3} (1 + 3\gamma) \rho r^3 \propto S^{-3\gamma}(t)$$

$$F_{Fr} = m \frac{d^2 r}{dt^2} = -\frac{G m M_g(r)}{r^2}$$

# Космологическое красное смещение (эффект Леметра)

---

$$(1 + z) = \lambda_0 / \lambda_1 = S_0 / S_1$$

$$r(t_0, z) = r(z) = \frac{c}{H_0} \int_0^z \frac{dz'}{h(z')}$$

$$h(z) = \sqrt{\tilde{\rho}(z) \Omega_0 + (1 - \Omega_0)(1 + z)^2}$$

# Эффект Леметра и эффект Допплера

---

$$V_{\text{exp}}(z) = c \frac{r(z)}{r_{H_0}}$$

$$V_{\text{Dop}}(z) = c \frac{2z + z^2}{2 + 2z + z^2}$$

# Космологическое гравитационное смещение (эффект Бонди)

$$z_{\text{cos}} \approx z_{\text{Dop}} + z_{\text{grav}} = x + \frac{1+q_0}{2} x^2 = \left( \frac{v}{c} + \frac{v^2}{2c^2} \right) + \frac{q_0}{2} x^2$$

$$z_{\text{grav}} = \frac{\delta \phi(r)}{c^2} = \frac{1}{2} \frac{G M(r)}{c^2 r} = \frac{1}{4} \Omega_0 x^2$$

**Bondi H., MNRAS, 107, 410 (1947)**



# Парадокс Хаббла-ДеВокулера

“The connection between homogeneity and Hubble’s law was the first success of the expanding world model.”

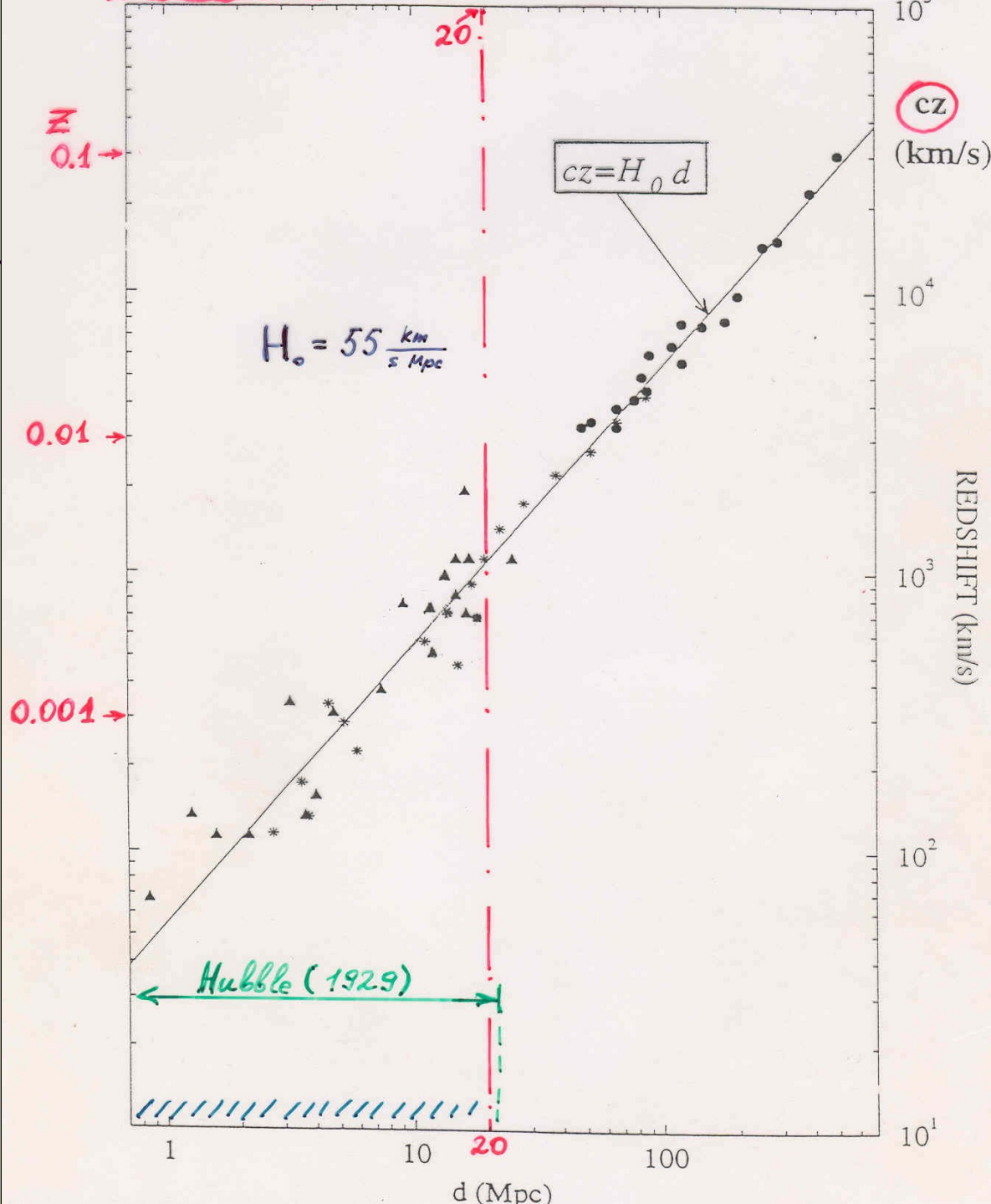
(Peebles P.J.E. et al., 1991, Nature, 352, 769)

Linear Hubble law  $\Rightarrow$  homogeneity

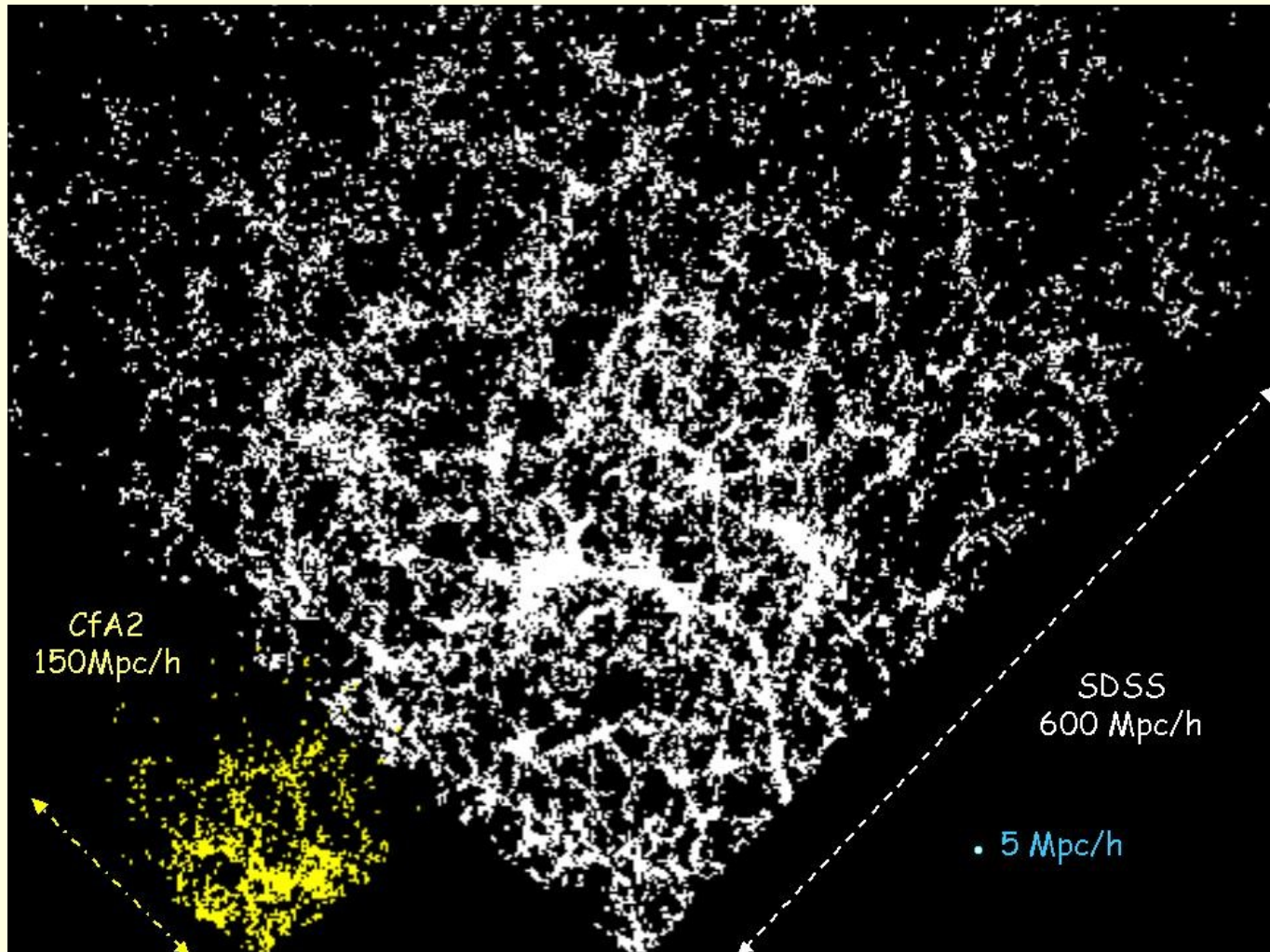
Однако из наблюдений следует:

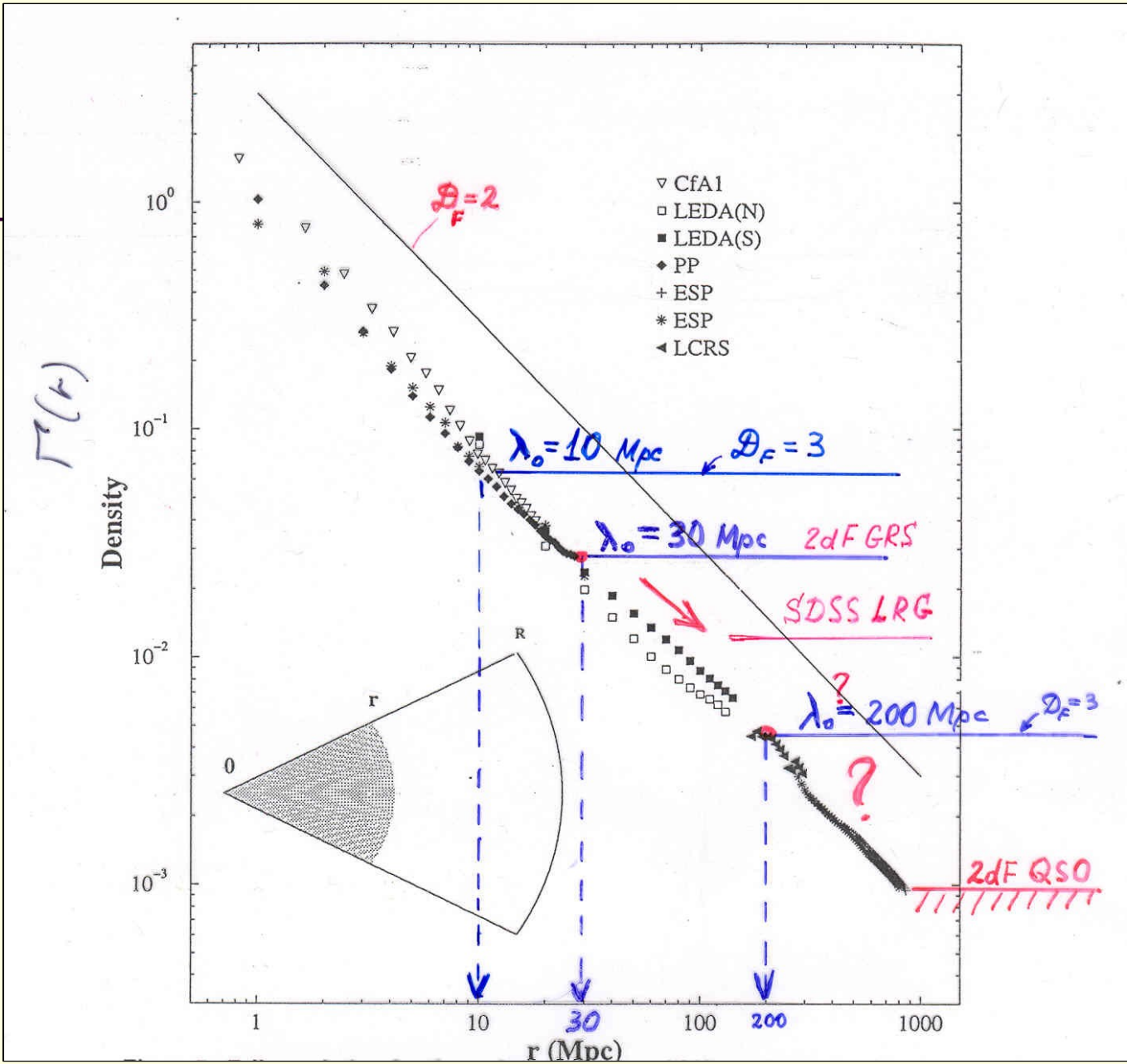
$$\left( r < r_{\text{hom}} \right) \quad \& \quad \left( cz = H_0 r \right)$$

# Закон Хаббла



# Парадокс Хаббла-ДеВокулера







# F E Y N M A N L E C T U R E S O N G R A V I T A T I O N

RICHARD P. FEYNMAN

FERNANDO B. MORINIGO ■ WILLIAM G. WAGNER

*Edited by Brian Hatfield*

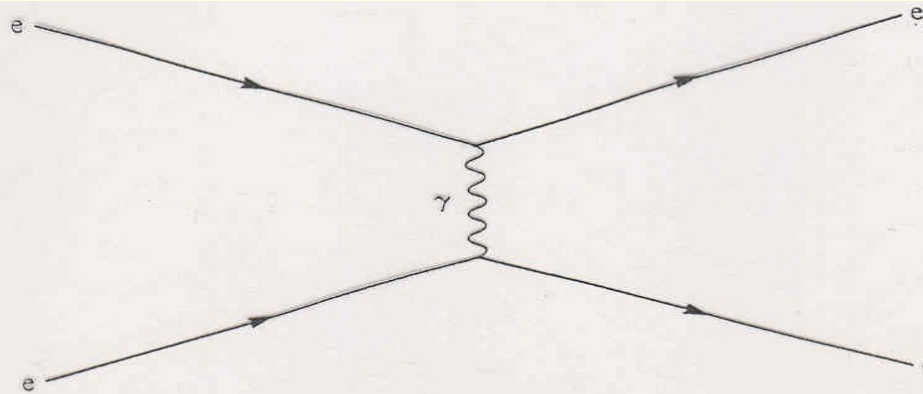
With a Foreword by  
John Preskill and Kip S. Thorne



*From Feynman to his wife:*

*“Remind me not to come to any more gravity conferences!”*

# Физика гравитационного взаимодействия



According to modern physics, the electric repulsion between two electrons is caused by the exchange of photons. The process is schematically depicted by this 'Feynman diagram'.

Table 6.1. *The four basic interactions*

Type of interaction	Relative strength	Range (centimetres)	Carrying particle		
			Particle	Rest mass	Spin
<u>Strong</u>	1	$\sim 10^{-13}$	Mesons	$> 10^2$ MeV	0
<u>Electromagnetic</u>	$10^{-2}$	Infinite	Photon	0	1
<u>Weak</u>	$10^{-13}$	$\sim 10^{-15}$	$Z^0, W^\pm$	$\sim 10^5$ MeV	1
<u>Gravitational</u>	$10^{-39}$	Infinite	Graviton	0	2 + 0 (?)

no problem with EMT

{ QCD ←  
 QED ←  
 QEW ←  
 ? ←  
 QG ←

# Основатели космологической физики: Сольвеевская конференция, 1958 год



F. HOYLE

H. C. van de HULST

A. R. SANDAGE

J. A. WHEELER

H. ZANSTRA

L. LEDOUX

O. S. KLEIN

W. W. MORGAN

B. V. KUKARKIN

M. FIERZ

W. BAADE

H. BONDI

T. GOLD

L. ROSENFELD

A. C. B. LOVELL

J. GÉHÉNIAU

V. A. AMBARZUMIAN

E. SCHATZMAN

W. H. MCCREA

J. H. OORT

G. LEMAÎTRE

C. J. GORTER

W. PAULI

W. L. BRAGG

J. R. OPPENHEIMER

C. MØLLER

H. SHAPLEY

O. HECKMANN

# Заключение

---

- Физический смысл расширения пространства – проблема непрерывного творения физического вакуума.
- Физика гравитационного взаимодействия – проблема энергии и квантовой природы гравитации.
- Проблема взаимосвязи локальной физики с глобальным распределением вещества.

*Необходимо развивать критические наблюдательные тесты космологической физики*



---

**Благодарю за внимание!**

**Пушино, 2008 год**