

Лекция 16

Мультивёрс Эверетта и математическая демократия. Проблемы космологии. Эволюция в Мультиверсе (немного философии)

Мультивёрс 3-го уровня - многомировая Вселенная Эверетта (исторически первая физическая модель мультивселенной, 1957)

Квантовая механика =

= уравнение Шредингера + коллапс волновой функции при наблюдении

Что такое коллапс волновой функции – непонятно.

Хью Эверетт:

Никакого коллапса волновой функции нет, все, включая Вселенную, описывается только уравнением Шредингера (или его обобщением), коллапс волновой функции и случайность, связанная с коллапсом – иллюзия наблюдателя, погруженного в квантовую Вселенную.

К многомировой интерпретации квантовой механики. Клонирование прибора, сознания и вселенной

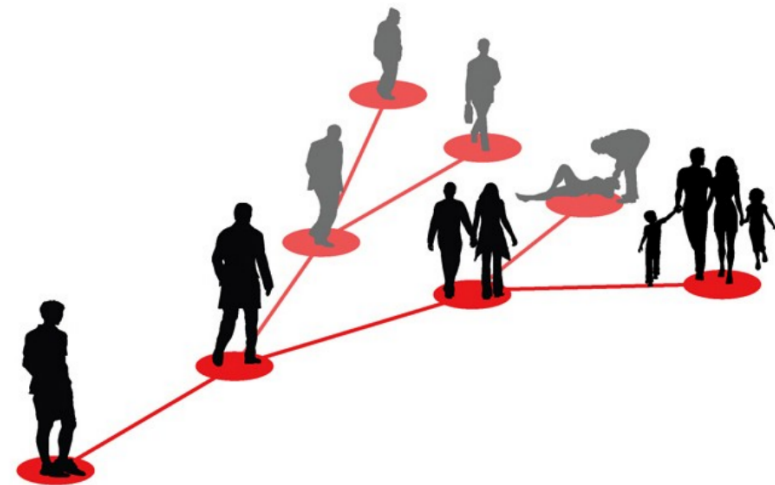
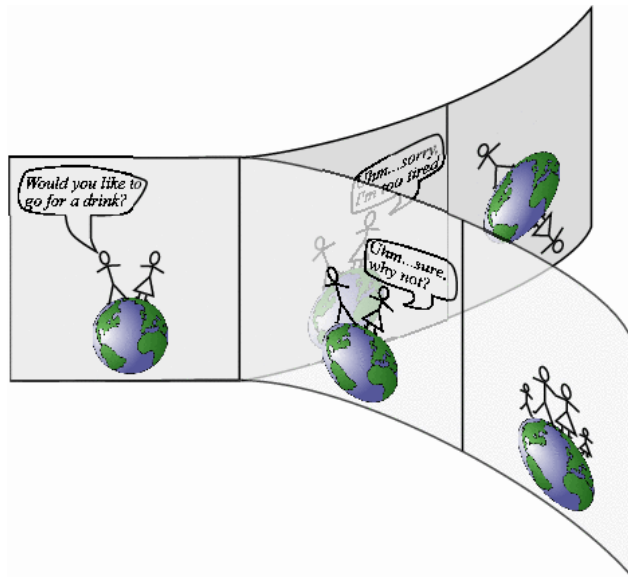
$|\uparrow\rangle$ – спин вверх
 $|\downarrow\rangle$ – спин вниз

$$|\uparrow\rangle|D_0\rangle \rightarrow |\uparrow\rangle|D_\uparrow\rangle; \quad |\downarrow\rangle|D_0\rangle \rightarrow |\downarrow\rangle|D_\downarrow\rangle$$

$$(a|\uparrow\rangle + b|\downarrow\rangle)|D_0\rangle \rightarrow a|\uparrow\rangle|D_\uparrow\rangle + b|\downarrow\rangle|D_\downarrow\rangle$$

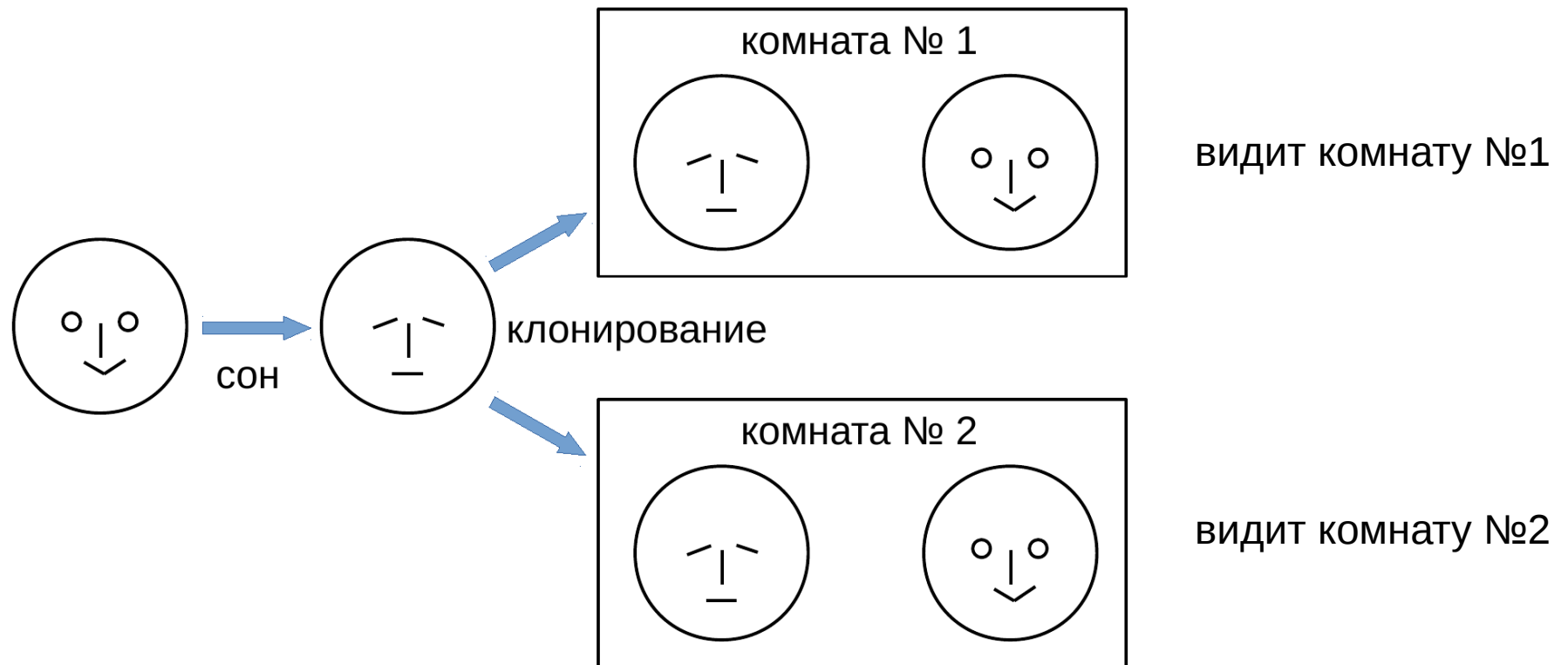
$$(a|\uparrow\rangle + b|\downarrow\rangle)|D_0\rangle|M_0\rangle \rightarrow a|\uparrow\rangle|D_\uparrow\rangle|M_\uparrow\rangle + b|\downarrow\rangle|D_\downarrow\rangle|M_\downarrow\rangle$$

$$(a|\uparrow\rangle + b|\downarrow\rangle)|D_0\rangle|M_0\rangle|U_0\rangle \rightarrow a|\uparrow\rangle|D_\uparrow\rangle|M_\uparrow\rangle|U_\uparrow\rangle + b|\downarrow\rangle|D_\downarrow\rangle|M_\downarrow\rangle|U_\downarrow\rangle$$



Как клонирование сознания порождает иллюзию случайности

Мысленный эксперимент Макса Тегмарка - клонирование



Случайности нет, но каждый из клонов субъективно воспринимает случайный результат 1 или 2

Если человеческое сознание заменить на ИИ, то эксперимент будет не мысленный, а вполне реальный.

Не безумие ли предполагать, что вся Вселенная находится в квантовом состоянии, описываемом единственной волновой функцией?

Анизотропия микроволнового фона описывается квантовыми флуктуациями масштаба видимой части вселенной и правильно предсказывается в предположении, что все поле инфлатона – единый квантовый объект

Квантовая теория на уровне всей видимой Вселенной дает предсказания, подтверждаемые экспериментом

Вся совокупность квантовых миров многомировой интерпретации Эверетта - Мультивёрс 3-го уровня.

В каком смысле вселенные Мультиверса существуют при том, что все они прямо недоступны наблюдению?

Другие вселенные входят в теорию, которая дает правильные предсказания для эксперимента, и без этих объектов работать не может.

Мультивёрс 4-го уровня - математический Мультивёрс Макса Тегмарка

Природа математики

Каков триллионный знак десятичного разложения $\sqrt{2}$?

Кто бы ни считал, ответ будет один и тот же, так как этот объект объективно существовал еще до того, как его кто-то взялся считать.

Мир математических форм существует объективно.

Мир математических форм – часть реальности, а не выдумка

Природа элементарных объектов физики

Либо при описании элементарных объектов физики будет иметь место регрессия в бесконечность (это плохо)

Либо регрессия оборвется, и тогда самые элементарные объекты будут иметь чисто математическое внешнее описание.

На этом уровне различие между математикой и физикой исчезает.

Гипотеза: Наблюдаемый нами мир **есть** математическая структура.

Вопрос: почему именно такая математическая структура, которая предписывает именно те законы природы, которые мы наблюдаем? Чем она выделена?

Ответ (Тегмарк): В принципе, она ничем не выделена; все непротиворечивые математические структуры есть реальные вселенные.

Имеет место математическая демократия → все непротиворечивые математические структуры образуют Мультиверс 4-го уровня, наша частная математическая структура есть один из объектов математического Мультиверса.

Наша математическая структура отличается тем, что допускает внутри себя существование Само Сознательной Субструктуры (ССС).

Возможность существования СССР определяет «тонкую настройку» нашей (математической) Вселенной на наше существование – вариант слабого антропного принципа.

Единственный постулат «теории всего»:

Все непротиворечивые математические структуры существуют физически.

Следствие:

В принципе это означает, что Вселенная абсолютно познаваема: надо только включить воображение и двигаться по пути этого познания.

Камень в огород хаотической инфляции: Теория Хорндески и космология отскока

Horndeski's theory can be written in terms of an action as^[4]

$$S[g_{\mu\nu}, \phi] = \int d^4x \sqrt{-g} \left[\sum_{i=2}^5 \frac{1}{8\pi G_N} \mathcal{L}_i[g_{\mu\nu}, \phi] + \mathcal{L}_m[g_{\mu\nu}, \psi_M] \right]$$

with the Lagrangian densities

$$\mathcal{L}_2 = G_2(\phi, X)$$

$$\mathcal{L}_3 = G_3(\phi, X)\square\phi$$

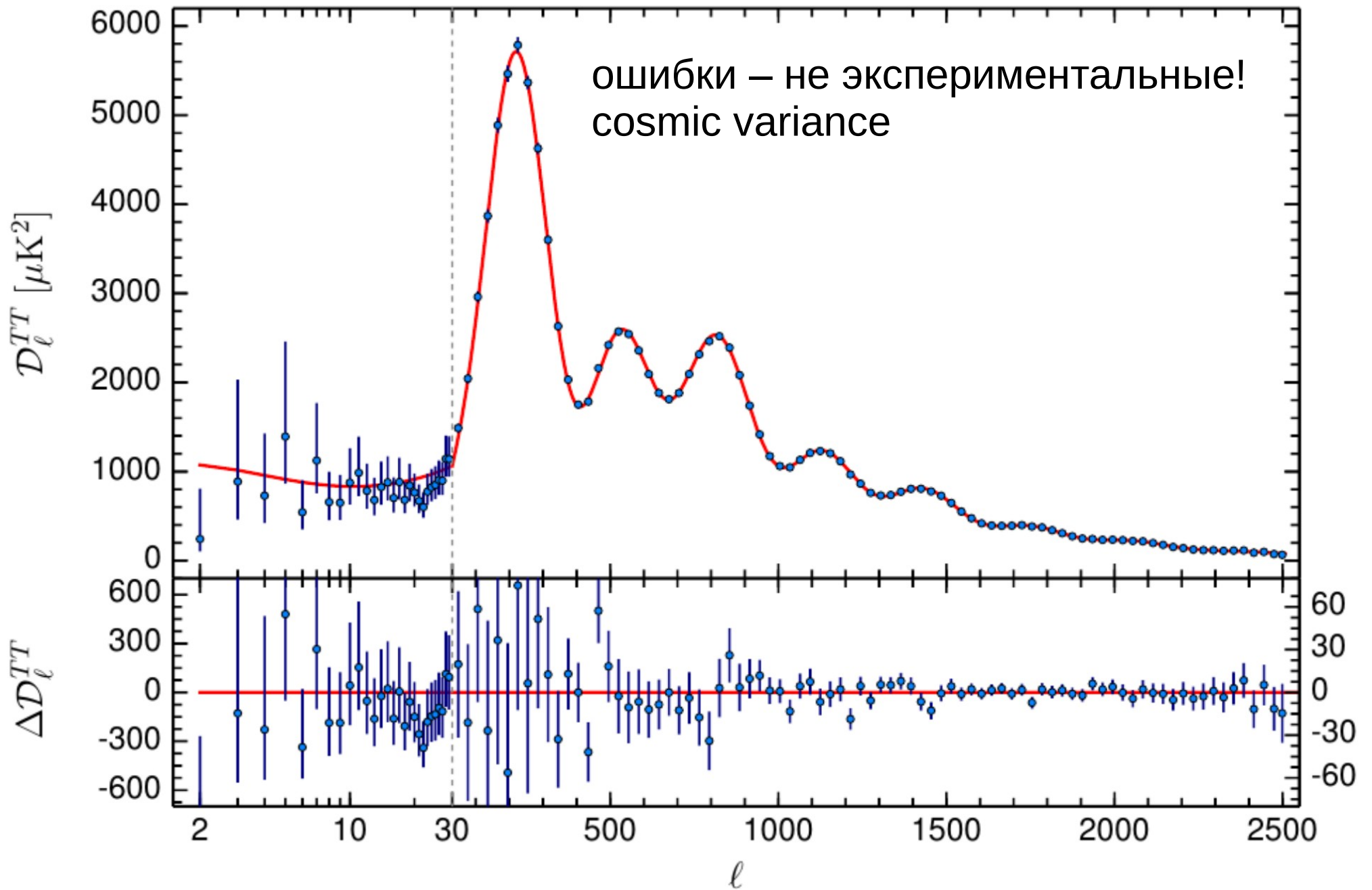
$$\mathcal{L}_4 = G_4(\phi, X)R + G_{4,X}(\phi, X) \left[(\square\phi)^2 - \phi_{;\mu\nu}\phi^{;\mu\nu} \right]$$

$$\mathcal{L}_5 = G_5(\phi, X)G_{\mu\nu}\phi^{;\mu\nu} - \frac{1}{6}G_{5,X}(\phi, X) \left[(\square\phi)^3 + 2\phi_{;\mu}{}^\nu\phi_{;\nu}{}^\alpha\phi_{;\alpha}{}^\mu - 3\phi_{;\mu\nu}\phi^{;\mu\nu}\square\phi \right]$$

Here G_N is Newton's constant, \mathcal{L}_m represents the matter Lagrangian, G_2 to G_5 are generic functions of ϕ and X , R , $G_{\mu\nu}$ are the Ricci scalar and Einstein tensor, $g_{\mu\nu}$ is the Jordan frame metric, semicolon indicates covariant derivatives, commas indicate partial derivatives, $\square\phi \equiv g^{\mu\nu}\phi_{;\mu\nu}$, $X \equiv -1/2g^{\mu\nu}\phi_{;\mu}\phi_{;\nu}$ and repeated indices are summed over following Einstein's convention.

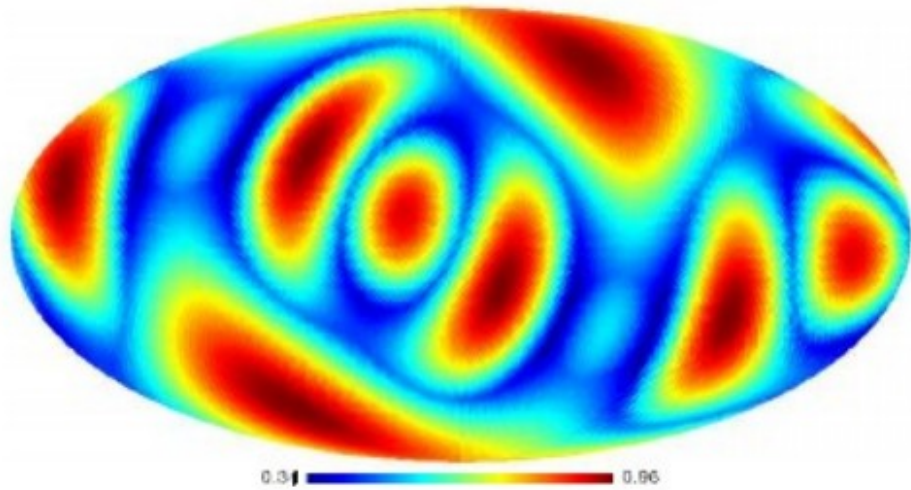
Проблемы космологии

Проблема мультиполей $l \sim 20$

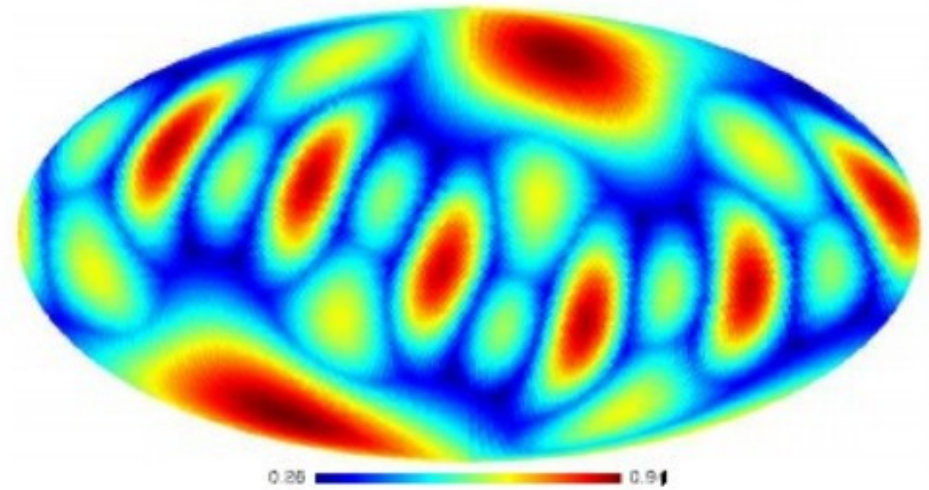


Провал спектра в области $l \sim 20$ очень маловероятен (но возможен).

Ось зла



$l = 2$



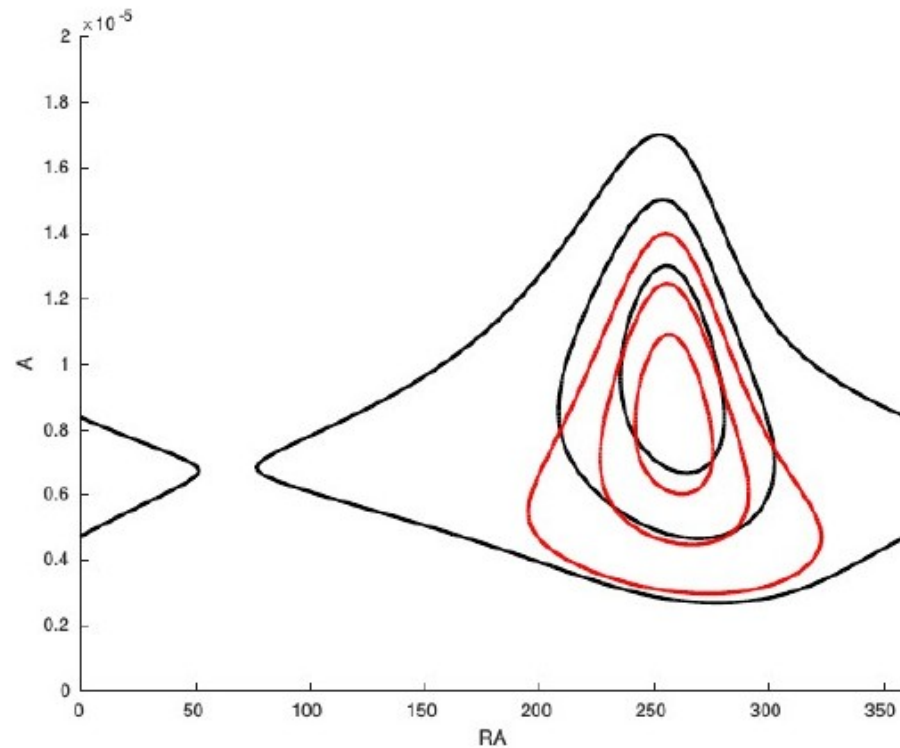
$l = 3$

«Ось зла»: неслучайное совпадение направлений осей квадруполья и октуполья (и даже $l = 4$) на уровне $\sim 95\%$

Австралийский диполь

A. M. M. Pinho, C. J. A. P. Martins, *Phys. Lett. B* 756 (2016), 121-125

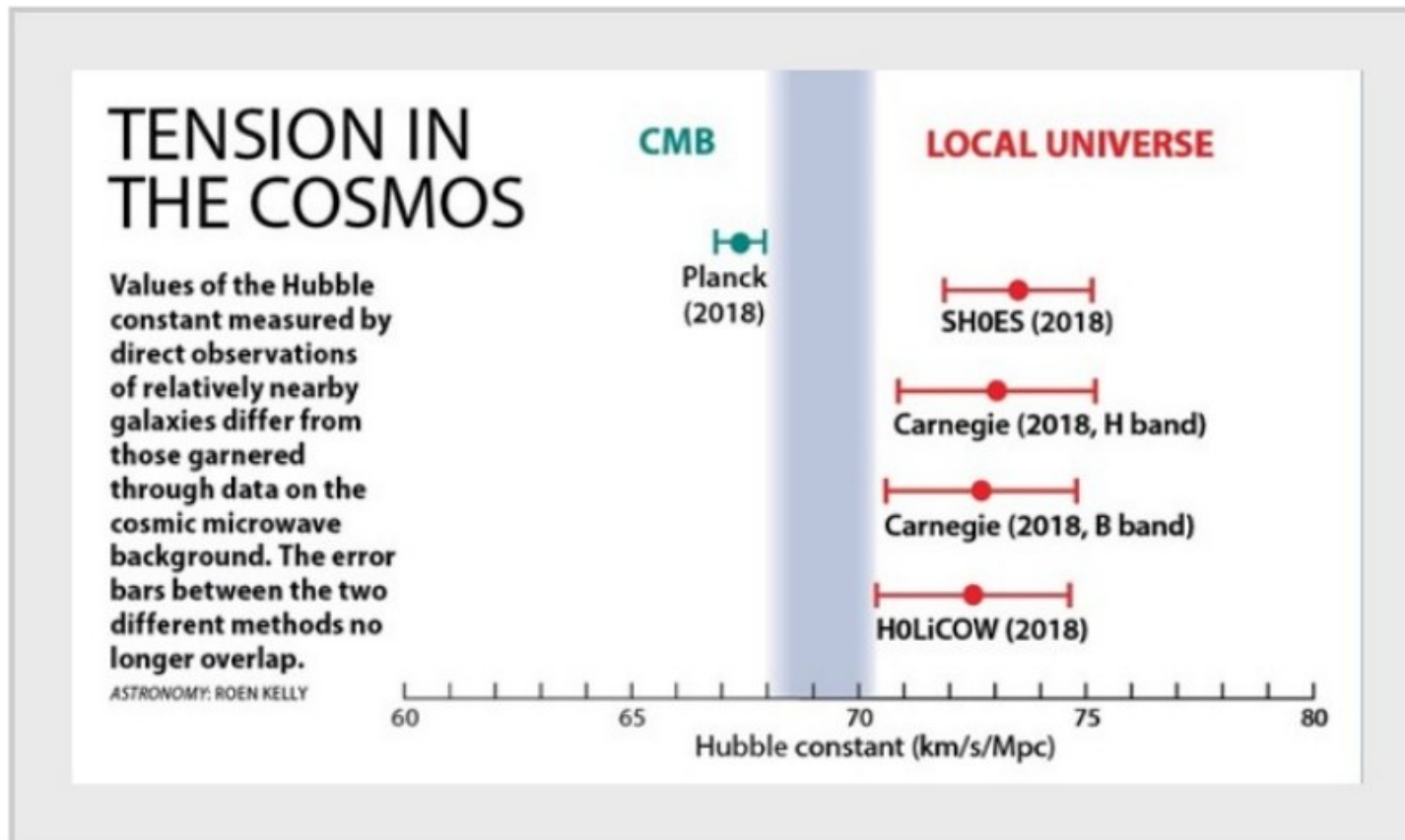
Пространственная вариация постоянной тонкой структуры дипольного типа



Dataset & c.l.	Amplitude (<i>ppm</i>)	Right Ascension (<i>h</i>)	Declination ($^{\circ}$)
Webb <i>et al.</i> (68.3%)	9.9 ± 2.3	17.2 ± 1.0	-61 ± 11
Webb <i>et al.</i> (99.7%)	9.9 ± 6.9	$17.2^{+5.0}_{-5.9}$	< -27
All data (68.3%)	8.7 ± 1.7	17.2 ± 0.7	-59 ± 8
All data (99.7%)	8.7 ± 5.1	17.2 ± 3.1	< -38

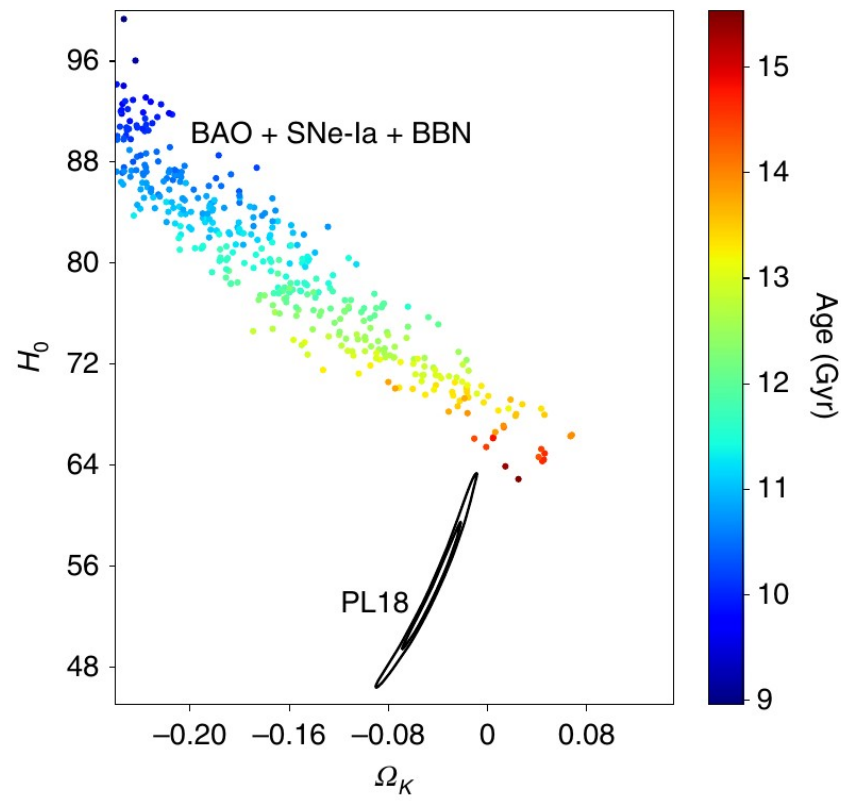
H0-tension:

Значение постоянной Хаббла, измеренные по микроволновому фону и по локальным данным противоречат друг другу



<https://astronomy.com/magazine/2019/06/tension-at-the-heart-of-cosmology>

Данные обсерватории Planck плохо согласуются с результатами других космологических наблюдений



BAO – Baryon Acoustic Oscillations

BBN – Big Bang Nucleosynthesis

Варианты объяснения результатов Planck:

1. Новая физика
2. Систематика Planck
3. Статистическая флуктуация $\sim 3\sigma$

Плоская ли Вселенная?

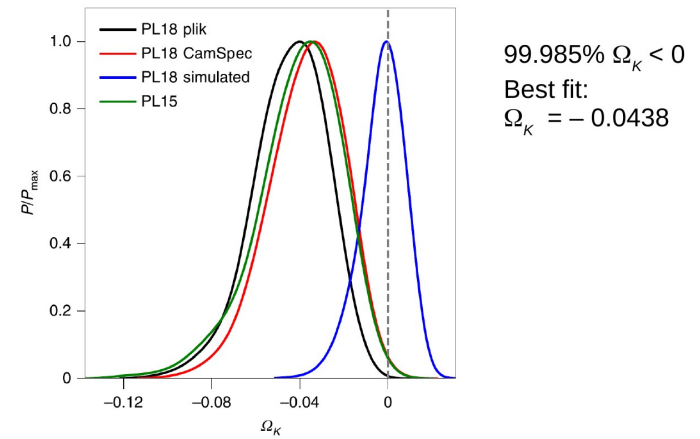
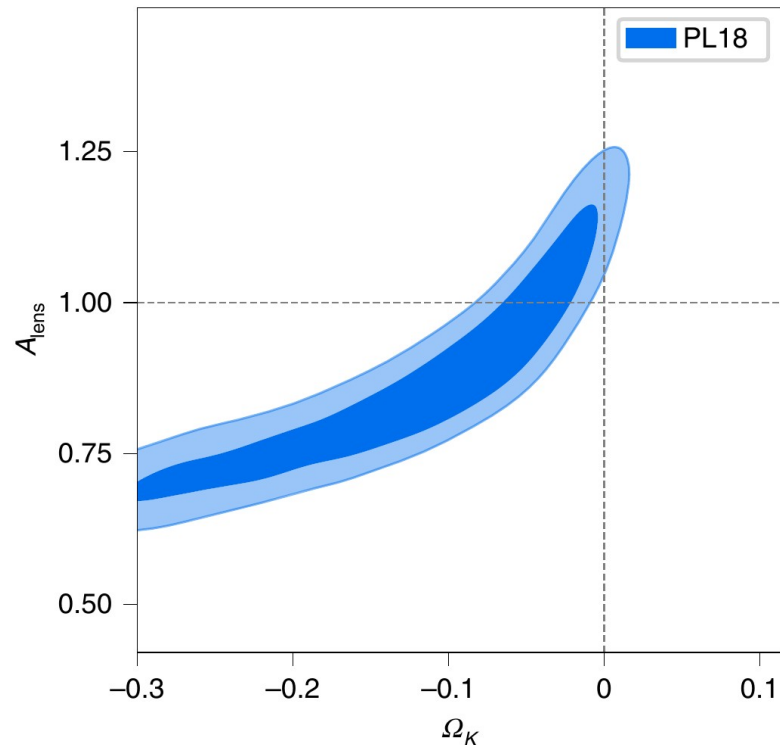
4 ноября 2019 г., Nature astronomy



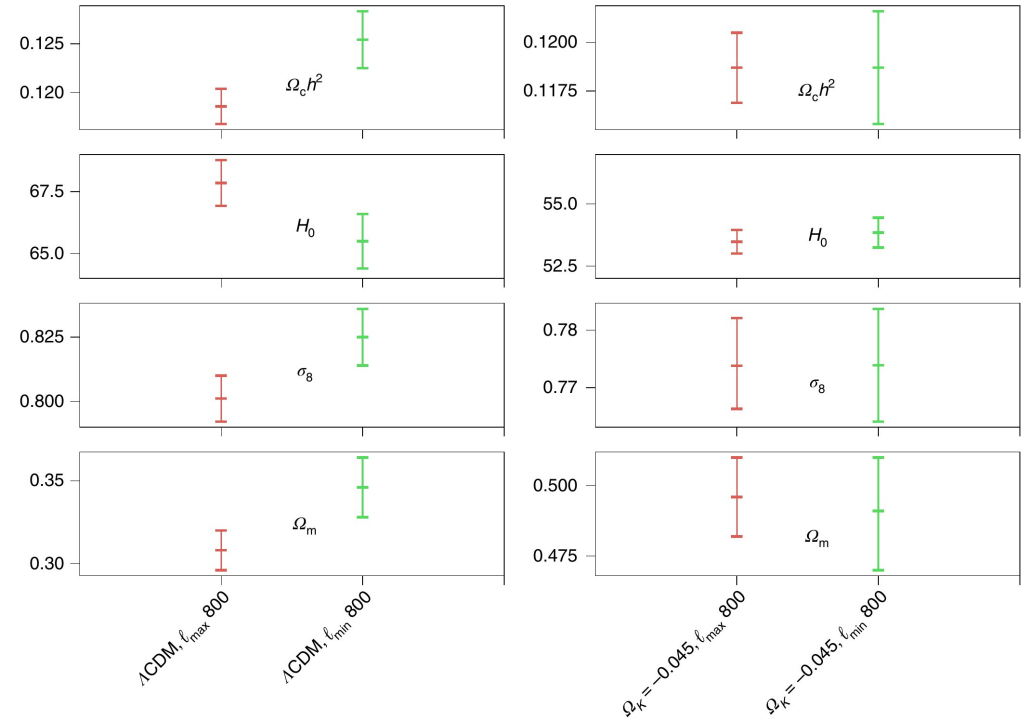
Planck evidence for a closed Universe and a possible crisis for cosmology

Eleonora Di Valentino¹, Alessandro Melchiorri^{2*} and Joseph Silk^{3,4,5}

The recent Planck Legacy 2018 release has confirmed the presence of an enhanced lensing amplitude in cosmic microwave background power spectra compared with that predicted in the standard Λ cold dark matter model, where Λ is the cosmological constant. A closed Universe can provide a physical explanation for this effect, with the Planck cosmic microwave background spectra now preferring a positive curvature at more than the 99% confidence level. Here, we further investigate the evidence for a closed Universe from Planck, showing that positive curvature naturally explains the anomalous lensing amplitude, and demonstrating that it also removes a well-known tension in the Planck dataset concerning the values of cosmological parameters derived at different angular scales. We show that since the Planck power spectra prefer a closed Universe, discordances higher than generally estimated arise for most of the local cosmological observables, including baryon acoustic oscillations. The assumption of a flat Universe could therefore mask a cosmological crisis where disparate observed properties of the Universe appear to be mutually inconsistent. Future measurements are needed to clarify whether the observed discordances are due to undetected systematics, or to new physics or simply are a statistical fluctuation.



Космологические параметры, определенные по разным углам:



$\Omega_c \equiv \Omega_{CDM}$

σ_8 – современный контраст неоднородности плотности материи на масштабе $8h^{-1}$ Мпк (стандартная величина по историческим причинам)

Проблема конфликта параметров для разных угловых масштабах исчезает, если принять $\Omega_K = -0.045$ ($\Omega = 1.045$).

Как получить положительную кривизну?

A.D. Linde, arXiv:astro-ph/0303245

Can we have inflation with $\Omega > 1$?

Andrei Linde*

Department of Physics, Stanford University, Stanford, CA 94305-4060, USA
(Dated: March 11, 2003)

It is very difficult to obtain a realistic model of a closed inflationary universe. Even if one fine-tunes the total number of e-folds to be sufficiently small, the resulting universe typically has $\frac{\delta\rho}{\rho} \sim \frac{\delta T}{T} = O(1)$ on the scale of the horizon. We describe a class of models where this problem can be resolved. The models are unattractive and fine-tuned, so the flatness of the universe remains a generic prediction of inflationary cosmology. Nevertheless one should keep in mind that with the fine-tuning at the level of about one percent one can obtain a semi-realistic model of an inflationary universe with $\Omega > 1$. The spectrum of density perturbations in this model may have a cut-off on the scale of the horizon. Similar approach may be valid in application to a compact inflationary universe with a nontrivial topology.

PACS numbers: PACS: 98.80.Cq, [astro-ph/0303245](#)

- Требуется тонкая подгонка N_e :

N_e	Ω_K
59.5	1.03
60	1.1
60.5	1.3

- Так как вселенная раздувается слабо, то и неоднородности разглаживаются слабо. Для $\Omega_K \sim -0.1$ получается $\delta\rho/\rho \sim 1$ на уровне масштаба горизонта.

- Модель с возмущениями $\delta\rho/\rho \sim 5 \times 10^{-5}$ и кривизной $\Omega_K \sim -0.1$ должна быть чем-то очень противостественным

- Например: Пузырь пространства, возникающий благодаря квантовому тунелированию из другой фазы, имеет тенденцию быть однородным и сферически симметричным \Rightarrow начальных неоднородностей, которые нужно было разглаживать, нет.

- Потенциал $V(\varphi)$ имеет вид (оч. крутой, чтобы N_e было мало):

$$V(\varphi) = \frac{m^2\varphi^2}{2} \exp \left[\left(\frac{\varphi}{CM_{Pl}} \right)^2 \right] \quad (16.1)$$

(C – некоторая константата). Такие потенциалы естественно появляются в супергравитации.

$N_e \sim \exp(2\pi C^2) \Rightarrow C = 3$ с точностью в несколько процентов. Инфляция продолжается только в узком интервале $M_{Pl}/2 \lesssim \varphi \lesssim CM_{Pl}$. Очень жесткие условия!

- Вероятность рождения такого пузыря подавлена фактором

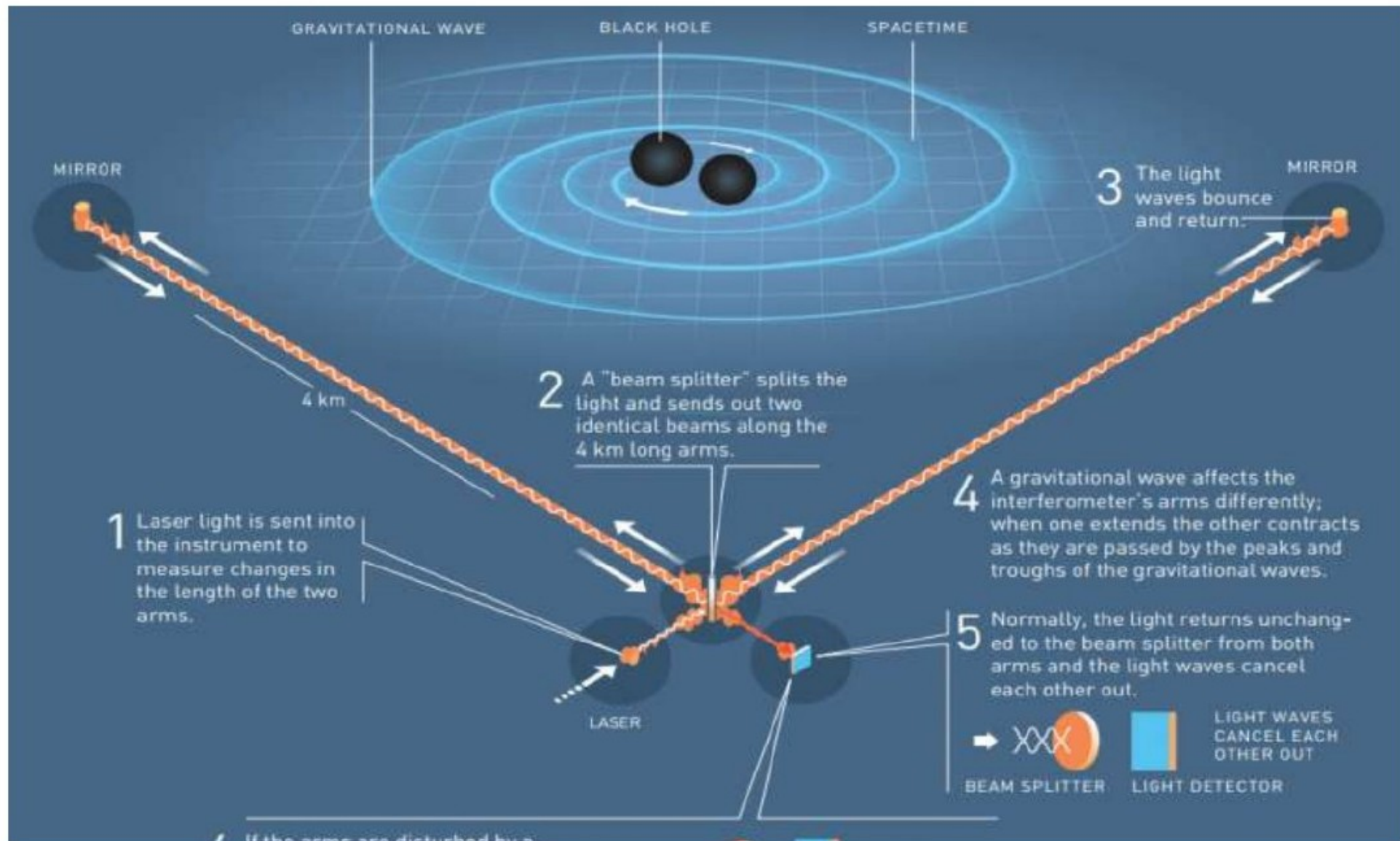
$$P \sim \exp \left(-\frac{3M_{Pl}^4}{8V(\varphi)} \right) \quad (16.2)$$

поэтому такие пузыри рождаются с $V(\varphi) \sim M_{Pl}^4$, когда $\varphi = CM_{Pl}$

- Все эти условия реализуются только с очень маленькой вероятностью.

All of the proposed models describing a closed (compact) inflationary universe are artificial and fine-tuned.

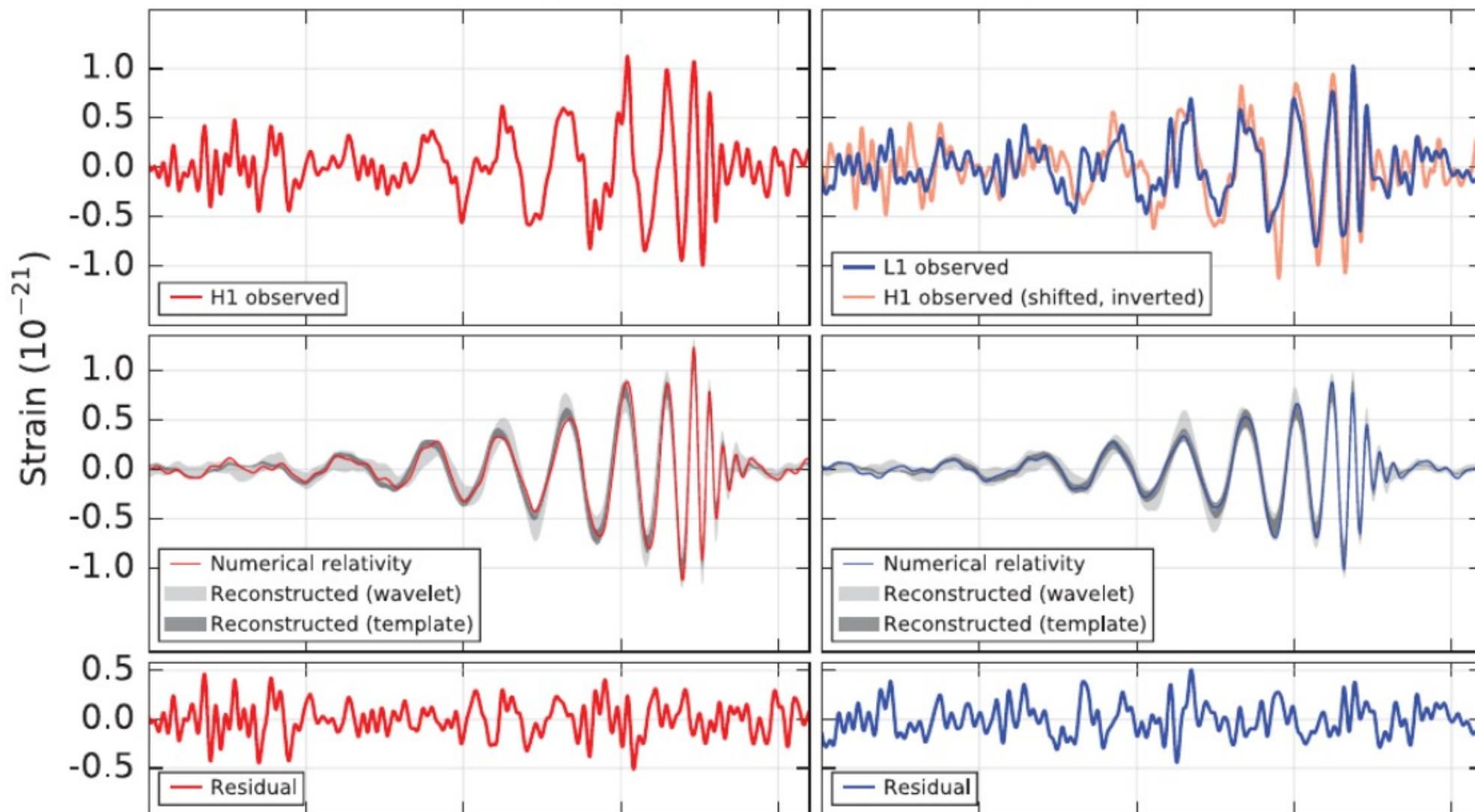
Гравитационные волны сливающихся черных дыр (2015)



Волновые формы детекторов

Hanford, Washington (H1)

Livingston, Louisiana (L1)



Name	Version	Release	GPS ↓	Mass 1 (M_{\odot})	Mass 2 (M_{\odot})	Network SNR	Distance (Mpc)	χ_{eff}	Chirp Mass (M_{\odot})	Re
GW170823	v1	GWTC-1- confident	1187529256.5	$39.5^{+11.2}_{-6.7}$	$29.0^{+6.7}_{-7.8}$	11.5	1940^{+970}_{-900}	$0.09^{+0.22}_{-0.26}$	$29.2^{+4.6}_{-3.6}$	0.
GW170818	v1	GWTC-1- confident	1187058327.1	$35.4^{+7.5}_{-4.7}$	$26.7^{+4.3}_{-5.2}$	11.3	1060^{+420}_{-380}	$-0.09^{+0.18}_{-0.21}$	$26.5^{+2.1}_{-1.7}$	0.
GW170817	v3	GWTC-1- confident	1187008882.4	$1.46^{+0.12}_{-0.10}$	$1.27^{+0.09}_{-0.09}$	33.0	40^{+7}_{-15}	$0.00^{+0.02}_{-0.01}$	$1.186^{+0.001}_{-0.001}$	0.
GW170814	v3	GWTC-1- confident	1186741861.5	$30.6^{+5.6}_{-3.0}$	$25.2^{+2.8}_{-4.0}$	15.9	600^{+150}_{-220}	$0.07^{+0.12}_{-0.12}$	$24.1^{+1.4}_{-1.1}$	0.
GW170809	v1	GWTC-1- confident	1186302519.8	$35.0^{+8.3}_{-5.9}$	$23.8^{+5.1}_{-5.2}$	12.4	1030^{+320}_{-390}	$0.08^{+0.17}_{-0.17}$	$24.9^{+2.1}_{-1.7}$	0.
GW170729	v1	GWTC-1- confident	1185389807.3	$50.2^{+16.2}_{-10.2}$	$34.0^{+9.1}_{-10.1}$	10.2	2840^{+1400}_{-1360}	$0.37^{+0.21}_{-0.25}$	$35.4^{+6.5}_{-4.8}$	0.
GW170608	v3	GWTC-1- confident	1180922494.5	$11.0^{+5.5}_{-1.7}$	$7.6^{+1.4}_{-2.2}$	14.9	320^{+120}_{-110}	$0.03^{+0.19}_{-0.07}$	$7.9^{+0.2}_{-0.2}$	0.
GW170104	v2	GWTC-1- confident	1167559936.6	$30.8^{+7.3}_{-5.6}$	$20.0^{+4.9}_{-4.6}$	13.0	990^{+440}_{-430}	$-0.04^{+0.17}_{-0.21}$	$21.4^{+2.2}_{-1.8}$	0.
GW151226	v2	GWTC-1- confident	1135136350.6	$13.7^{+8.8}_{-3.2}$	$7.7^{+2.2}_{-2.5}$	13.1	450^{+180}_{-190}	$0.18^{+0.20}_{-0.12}$	$8.9^{+0.3}_{-0.3}$	0.
GW151012	v3	GWTC-1- confident	1128678900.4	$23.2^{+14.9}_{-5.5}$	$13.6^{+4.1}_{-4.8}$	10.0	1080^{+550}_{-490}	$0.05^{+0.31}_{-0.20}$	$15.2^{+2.1}_{-1.2}$	0.
GW150914	v3	GWTC-1- confident	1126259462.4	$35.6^{+4.7}_{-3.1}$	$30.6^{+3.0}_{-4.4}$	24.4	440^{+150}_{-170}	$-0.01^{+0.12}_{-0.13}$	$28.6^{+1.7}_{-1.5}$	0.

В спектре масс тех черных дыр, которые могут возникнуть в результате звездного коллапса, имеется довольно широкая щель. Нижняя граница этой щели лежит в диапазоне от 40 до 65 солнечных масс, а верхняя приблизительно равна 120 солнечным массам.

PHYSICAL REVIEW LETTERS **125**, 101102 (2020)

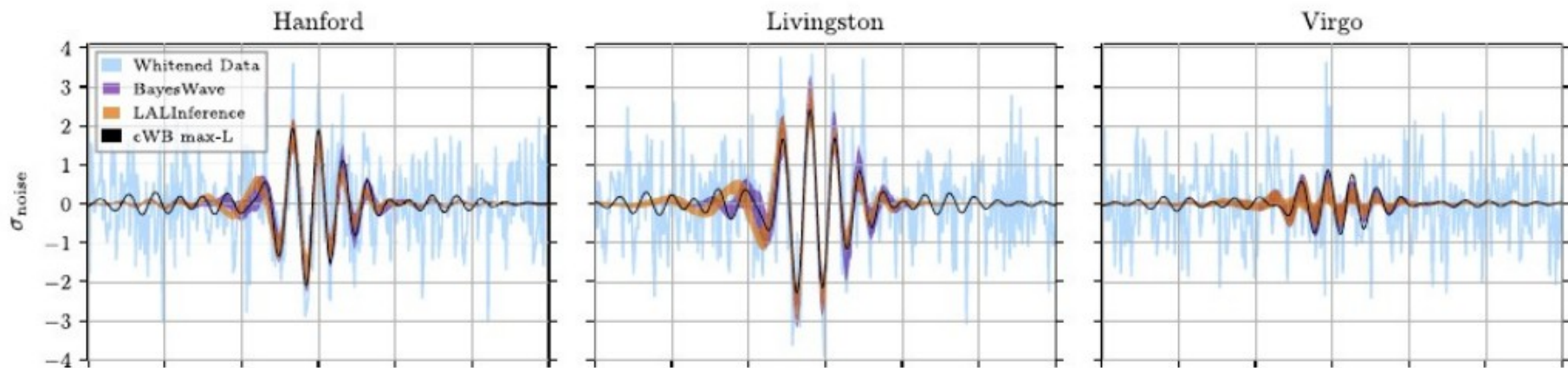
Editors' Suggestion

Featured in Physics

GW190521: A Binary Black Hole Merger with a Total Mass of $150 M_{\odot}$

R. Abbott *et al.**

(LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration)



$85^{+21}_{-14} M_{\odot}$ and $66^{+17}_{-18} M_{\odot}$ (90% credible intervals)

$$\chi_{eff} \sim 0$$

Такие черные дыры не могут естественным путём образоваться в результате звездной эволюции! \Rightarrow

Большинство найденных черных дыр – реликтовые.

Предполагает ли модель Λ CDM возможность образования реликтовых черных дыр? В общем, это пока непонятно.

arXiv:2011.14385

PRIMORDIAL BLACK HOLES AND MODIFICATION OF ZELDOVICH-NOVIKOV MECHANISM *

© 2021. A. D. Dolgov^{1,†} and K. A. Postnov^{2,‡}

¹*Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia*

²*Sternberg Astronomical Institute, Moscow, Russia*

Received: ; Revised: ; Accepted: .

A review of the recent astronomical observations is presented and it is argued that the data strongly indicate that practically all observed black holes are primordial. A modified mechanism of the primordial black hole formation is described. The log-normal mass spectrum predicted by this mechanism is strongly confirmed by the LIGO data on gravitational wave registration.

Эволюция в Мультивёрсе:
немного философии

Парадокс Циолковского в Мультиверсе

В вечном и бесконечном Мультиверсе наивысший возможный уровень эволюции должен быть достигнут (бесконечно) много раз, независимо от того, насколько велика или мала вероятность его достижения.

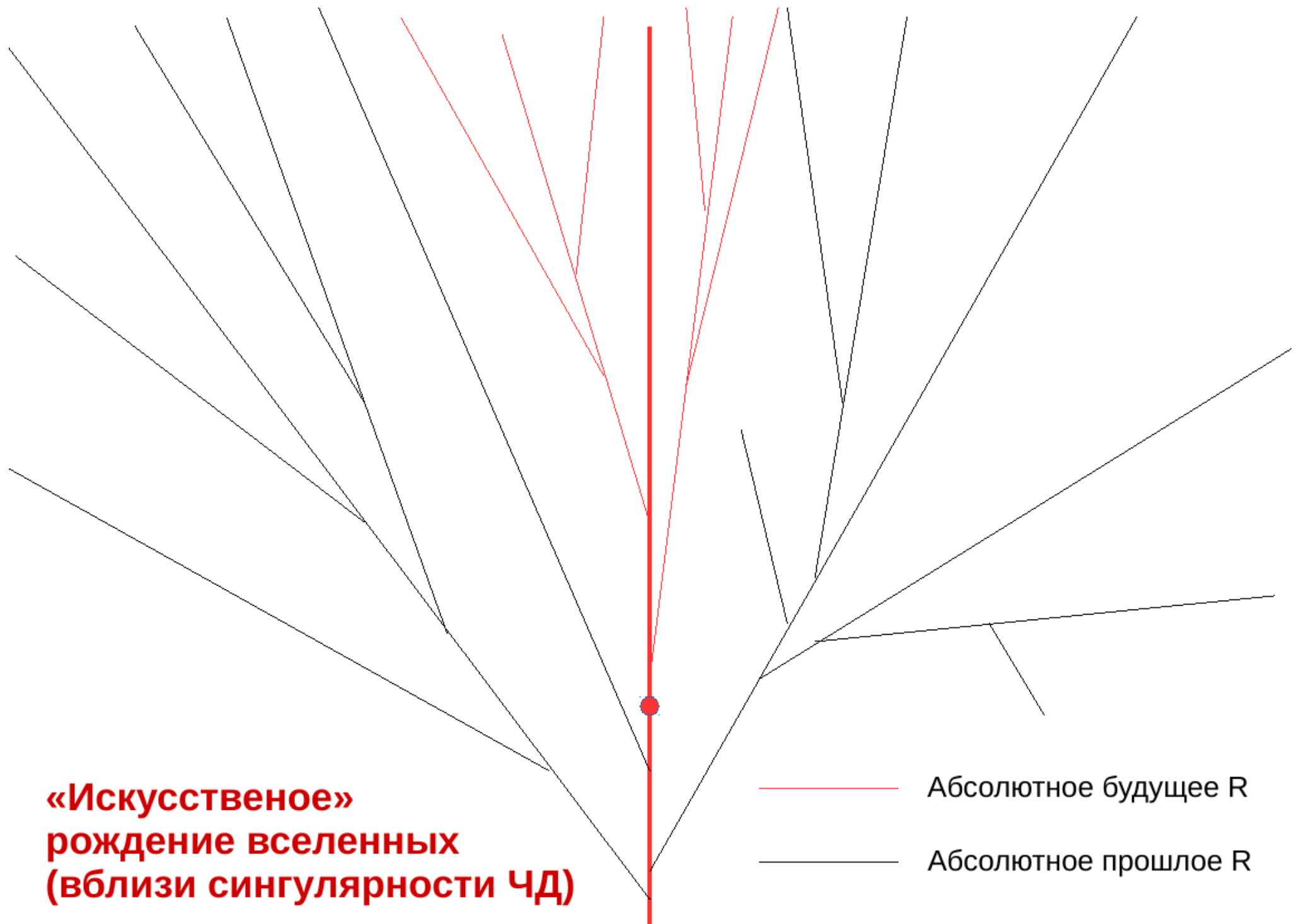
В Мультиверсе «совершенный разум» присутствует актуально.

КАКОВ НАИВЫСШИЙ ВОЗМОЖНЫЙ УРОВЕНЬ ЭВОЛЮЦИИ?

Альтернатива:

Либо уровень эволюции, допускающий влияние из одной локальной вселенной на другие локальные вселенные **недостижим** во всем бесконечном количестве реализаций локальных вселенных Мультиверса (*маловероятно?*), тогда для нас присутствие «совершенного разума» ничего не значит.

Либо этот уровень достижим, тогда наша локальная Вселенная может иметь следы «искусственной» настройки с очень большой вероятностью



**«Искусственное»
рождение вселенных
(вблизи сингулярности ЧД)**

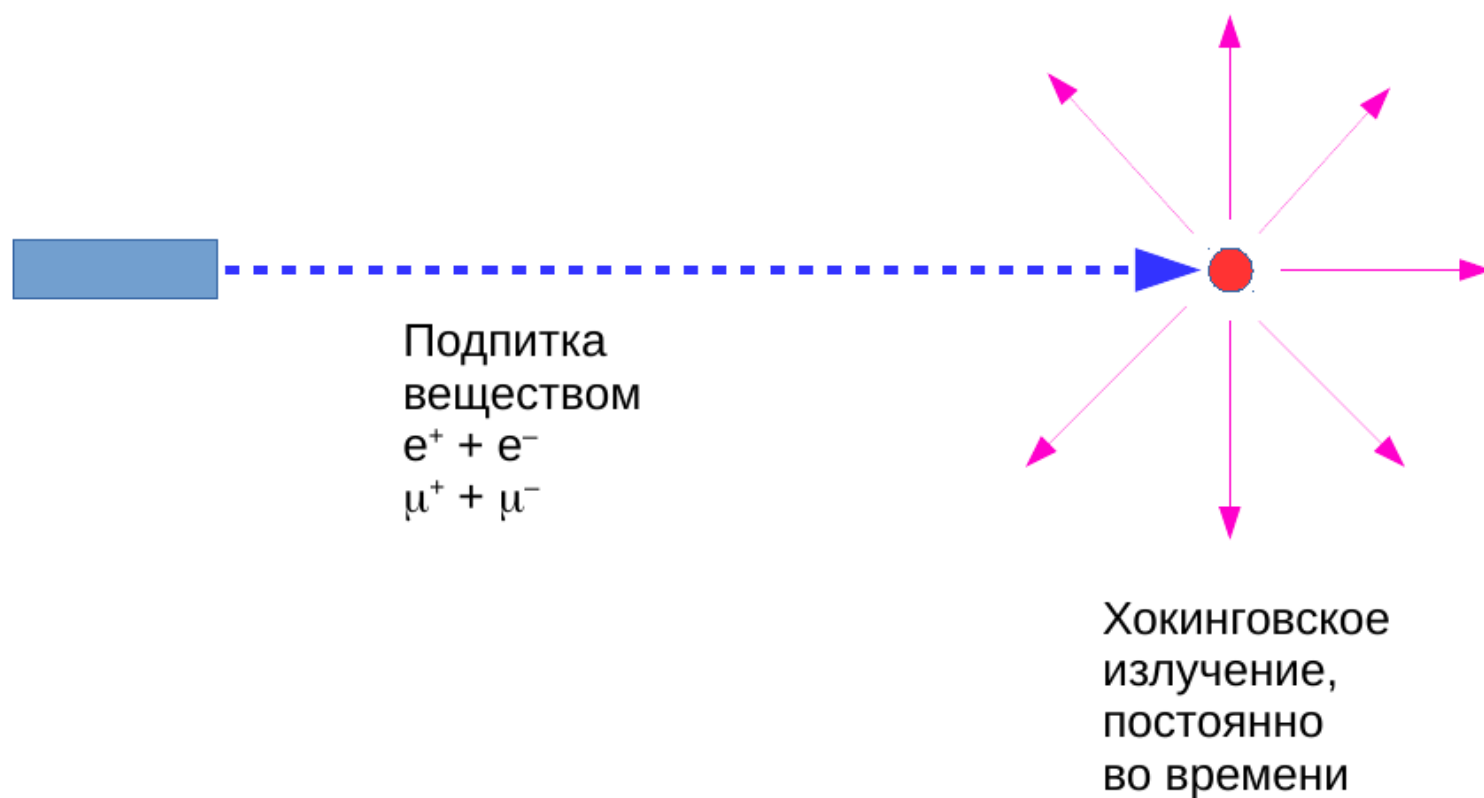
- Абсолютное будущее R
- Абсолютное прошлое R

Луис Крейн. Искусственные черные дыры ($am = 10^{-16}\text{см}$)

R (am)	M (Mt)	kT (GeV)	$f(T)$	P (PW)	P/c^2 (g/sec)	L (yrs)
0.16	0.108	98.1	13.3	5519	61400	$\lesssim 0.04$
0.3	0.202	52.3	13.0	1527	17000	$\lesssim 0.12$
0.6	0.404	26.2	12.5	367	4090	1
0.9	0.606	17.4	12.2	160	1780	3.5
1.0	0.673	15.7	12.1	129	1430	5
1.5	1.01	10.5	11.9	56.2	626	16 – 17
2.0	1.35	7.85	11.8	31.3	348	39 – 41
2.5	1.68	6.28	11.7	19.8	221	75 – 80
2.6	1.75	6.04	11.7	18.3	204	85 – 91
2.7	1.82	5.82	11.7	16.9	189	95 – 102
2.8	1.89	5.61	11.6	15.7	175	106 – 114
2.9	1.95	5.41	11.6	14.6	163	118 – 127
3.0	2.02	5.23	11.6	13.7	152	130 – 140
5.8	3.91	2.71	11.1	3.50	38.9	941 – 1060
5.9	3.97	2.66	11.1	3.37	37.5	991 – 1117
6.0	4.04	2.62	11.1	3.26	36.2	1042 – 1177
6.9	4.65	2.28	10.9	2.43	27.1	1585 – 1814
7.0	4.71	2.24	10.9	2.36	26.2	1655 – 1897
10.0	6.73	1.57	10.5	1.11	12.3	4824 – 5763

Зачем нужны искусственные черные дыры?

Сверхэффективный источник энергии:
100% переработки массы в энергию



Как создать мегатонную ЧД?

Гамма-лазеры с волной $\sim 10^{-15}$ см, $E \sim 100$ ГэВ
(самофокусировка)

Пример

$$M_{\text{ВН}} = 10^6 \text{ т}$$

Расстояние от поверхности Солнца = 2 млн. км.

Размер солнечной панели = 1000 км \times 1000 км

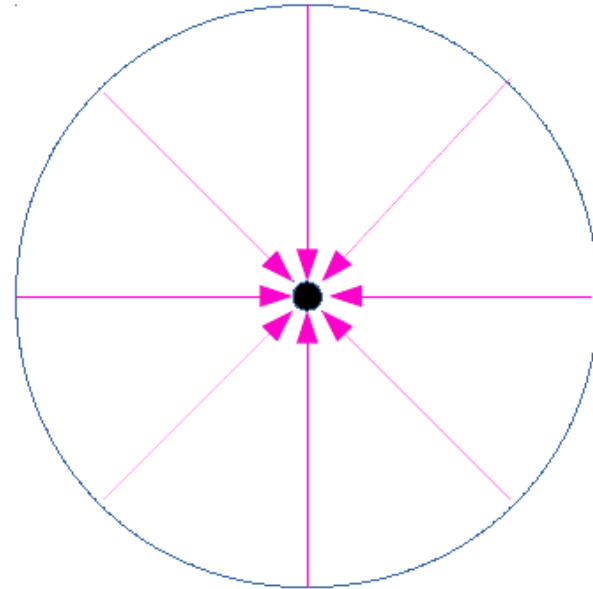
Время сбора энергии = 247 дней

Масса установки (оценка Л.Крейна):

10^{10} т (небольшой астероид, ~ 1.5 км)

+Возможность тонкой настройки:

- Заданный момент вращения,
- Квазинормальные моды колебаний,
- Заряд



Как искать следы работы «совершенного разума»?

За тонкую настройку констант может отвечать не только слабый антропный принцип

Физика: странные совпадения, странные соотношения.

Математика (сценарий Сагана): странное поведение математических структур