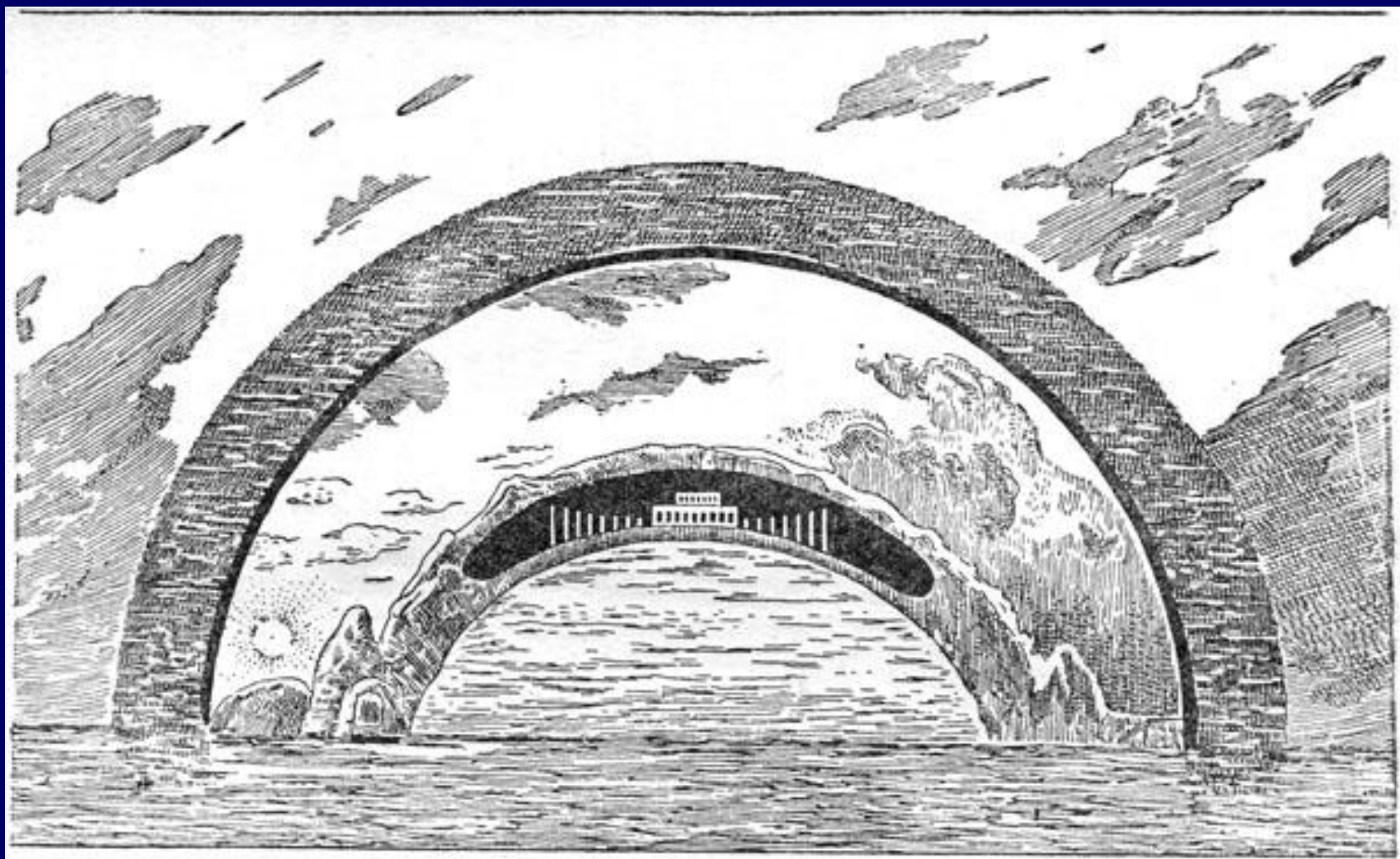
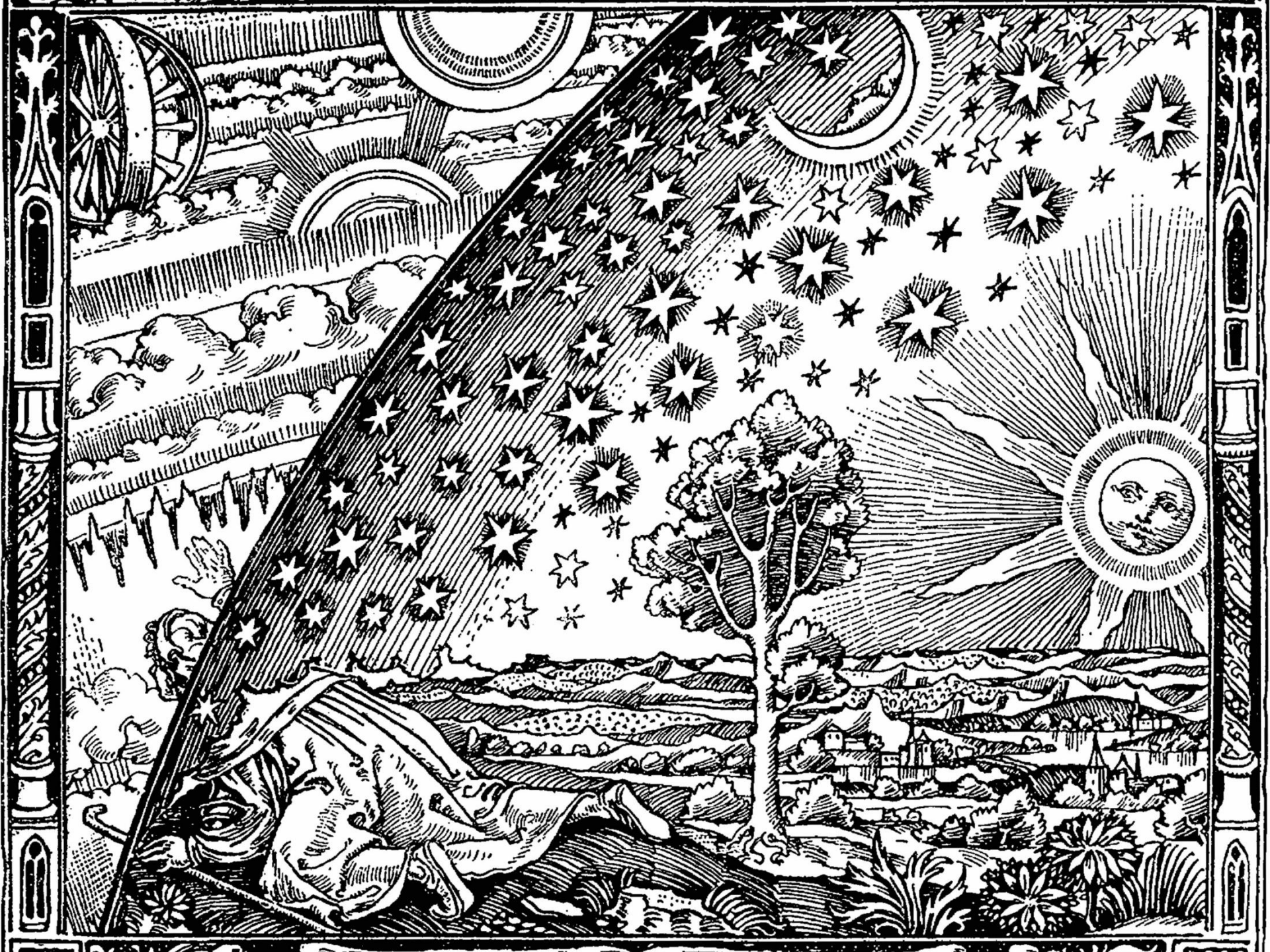




Строение Вселенной







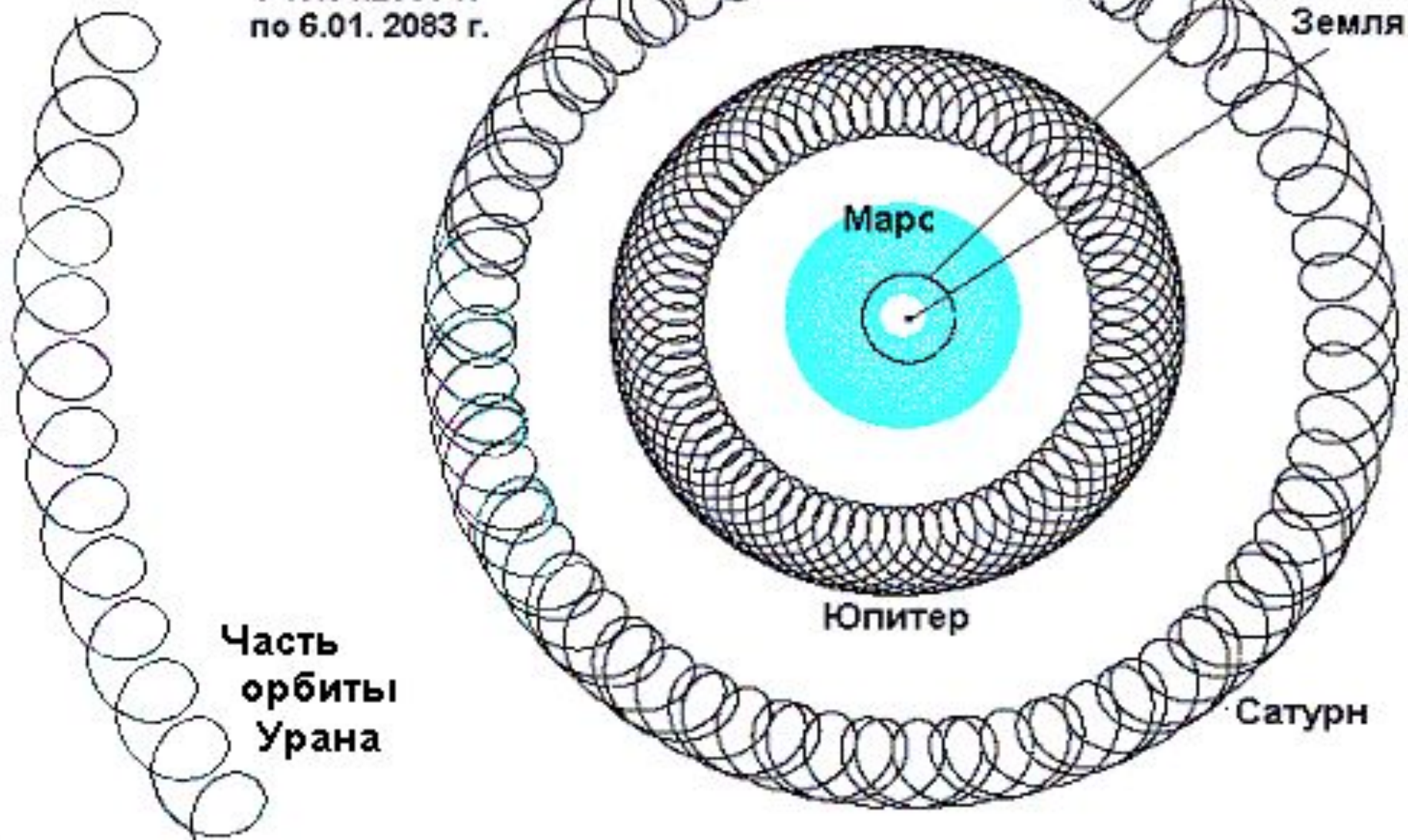
*Клавдий Птолемей (87-165 гг.)
(Κλαύδιος Πτολεμαῖος, лат. Ptolemaeus)*

С 127 по 151 год жил в Александрии, где проводил астрономические наблюдения.

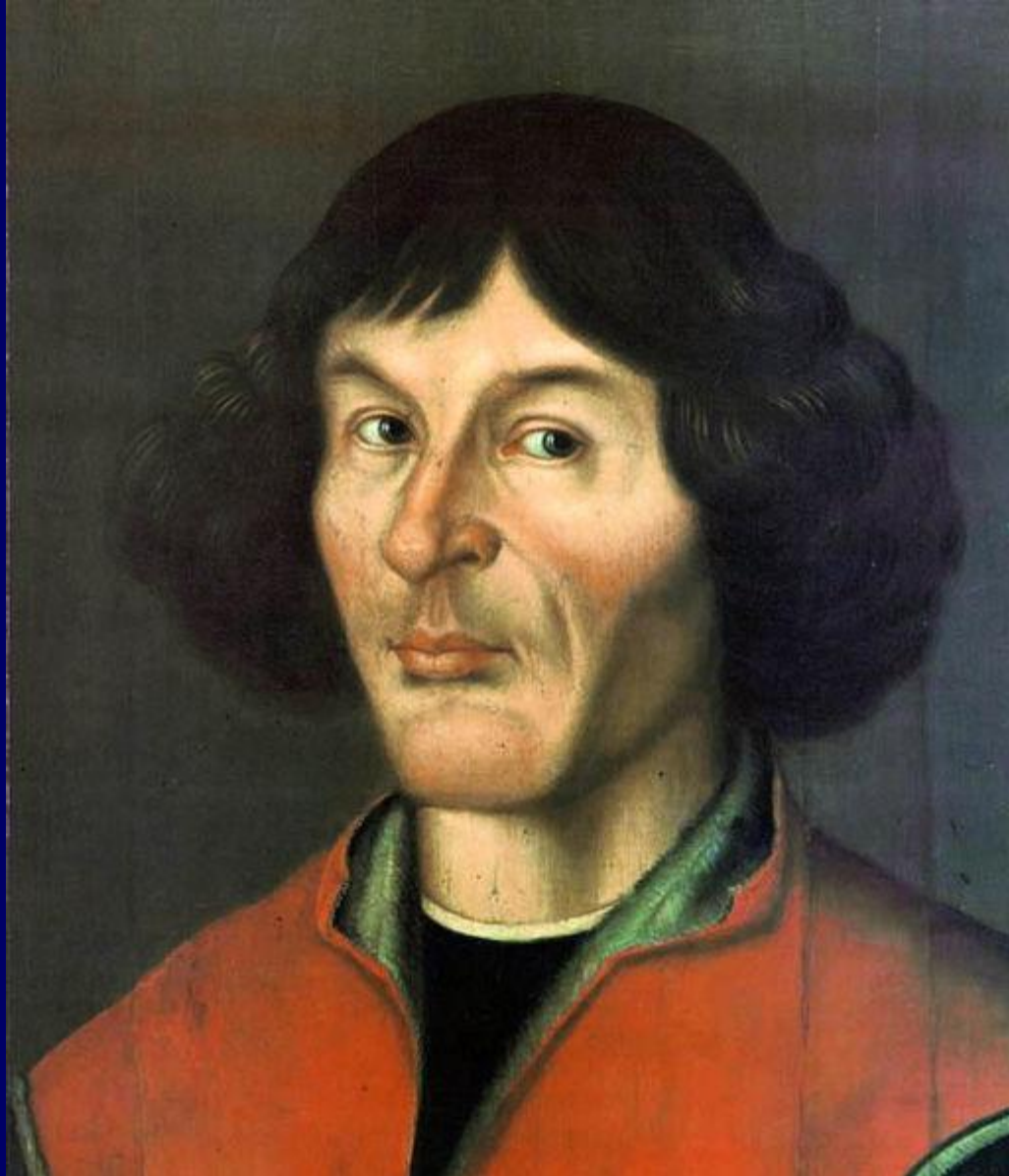
Автор классической античной монографии «Альмагест».

ГЕОЦЕНТРИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

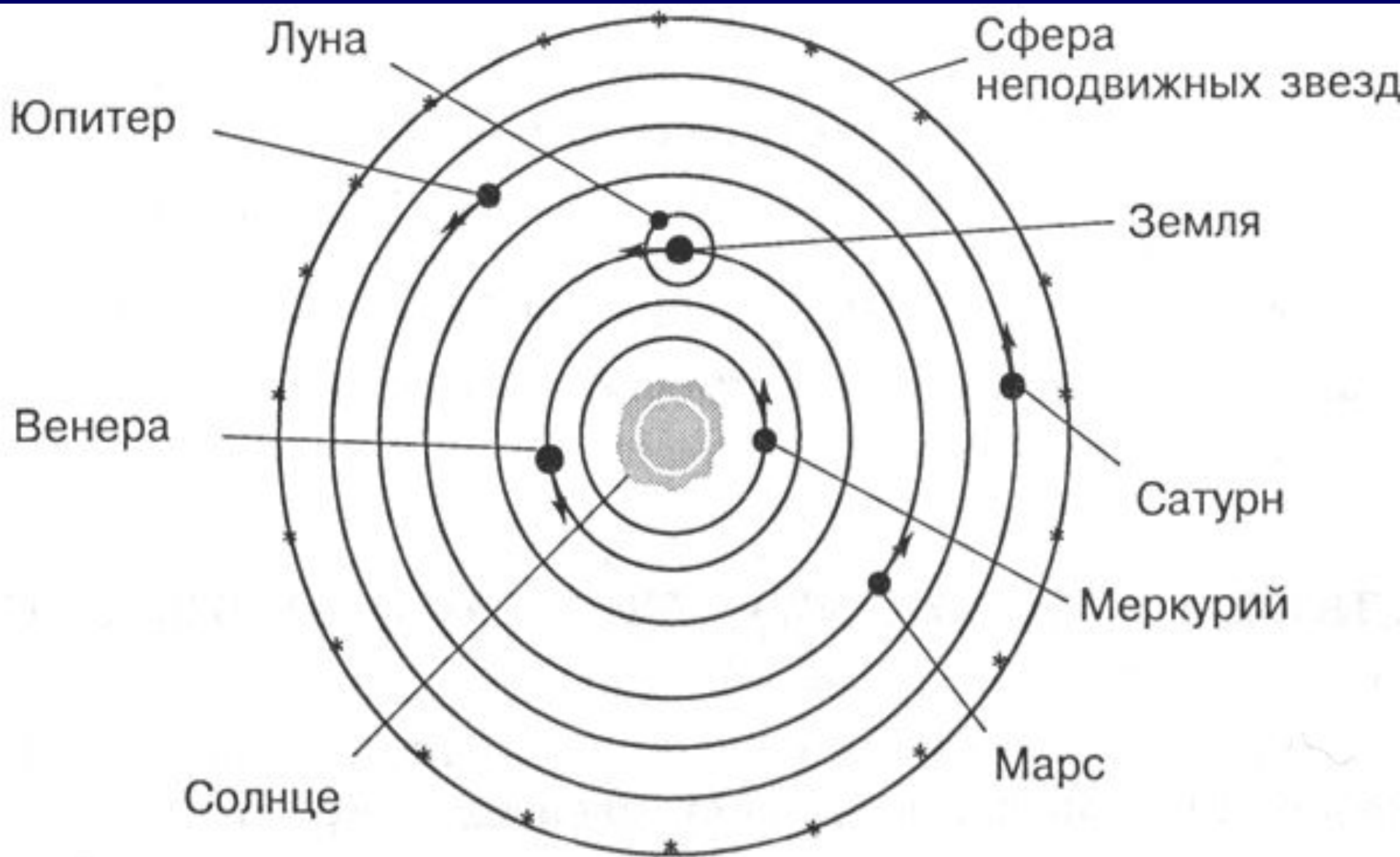
Траектории планет
с 13.01.2000 г.
по 6.01. 2083 г.



Геоцентрическая картина мира



Николай Коперник (Mikołaj Kopernik)
19 февраля 1473, Торунь — 24 мая 1543, Фромборк
De revolutionibus orbium coelestium («Об обращении небесных сфер»)
Нюрнберг, 1543 год



Гелиоцентрическая картина мира



Тíхо Бра́ге (*Tyge Ottesen Brahe*)

14 декабря 1546, Кнудstrup, Дания (ныне территория Швеции) —

24 октября 1601, Прага)



ensborg

Hven

Nivå Bugt

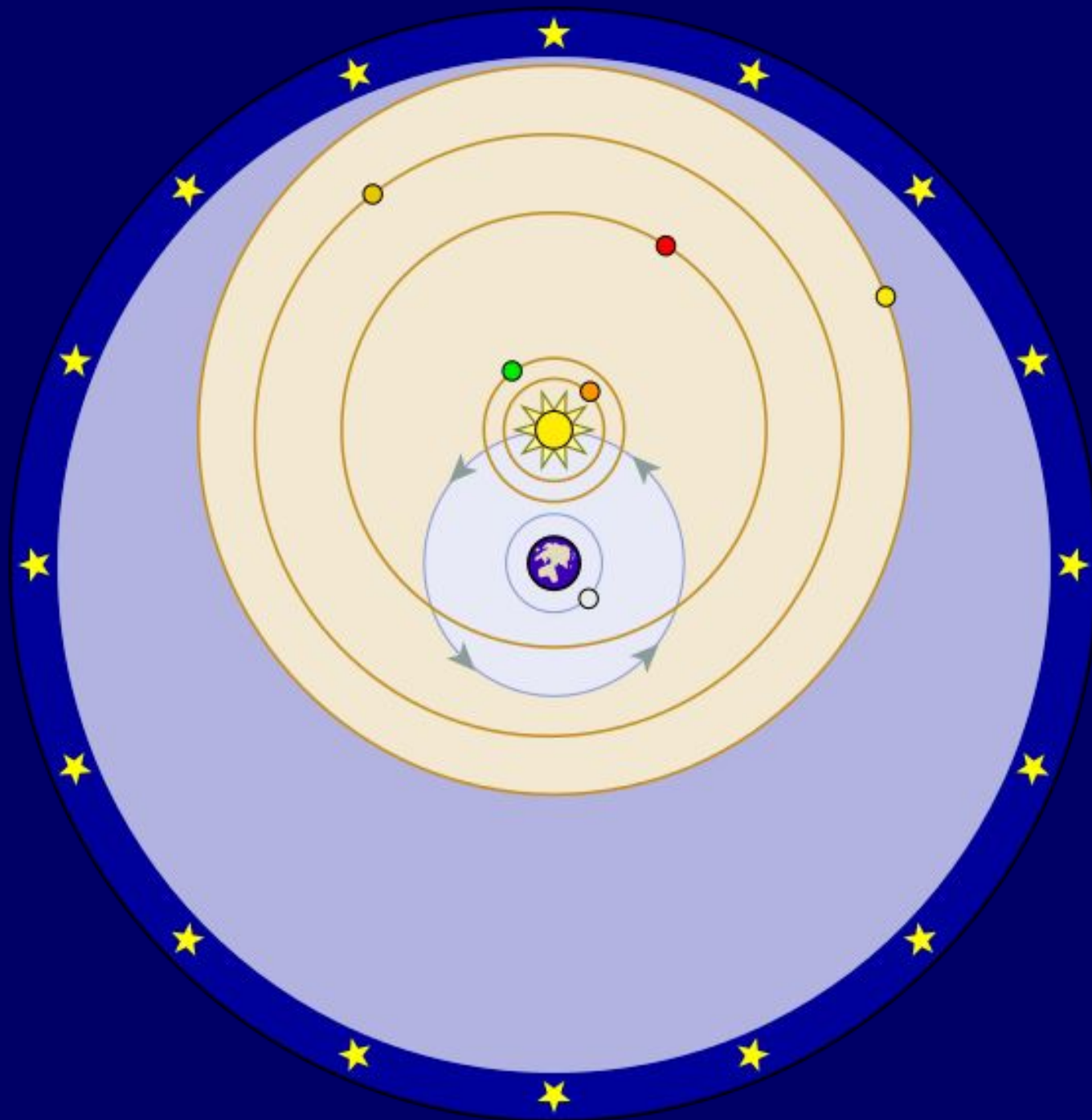
Hørsholm

Vedbæk

Rudersdal

Ландскруна







Иоганн Кеплер (Johannes Kepler)
27 .12.1571 года, Вайль-дер-Штадт - 15 .12.1630 года,
Регенсбург)

710.

Prodromus
DISSERTATIONVM COSMOGRAPHICARVM,
continens
MYSTERIVM
COSMOGRAPHICVM
DE ADMIRABILI PROPORTIONE OR-
bium cœlestium: deque causis cœlorum numeri, magni-
tudinis, motuumque periodicorum ge-
nuinis & propriis,

Demonstratum per quinque regularia corpora Geometrica.

Libellus primum Tübingæ in lucem datus Anno Christi
M. D. XCVI.

*M. IOANNE KEPLERO VIRTEMBERGICO, TVNC TEMPO-
ris Illustrissimum Styria Provincialium Mathematico.*

Nunc vero post annos 25. ab eodem authore recognitus, & Notis notabilissimis
partim emendatus, partim explicatus, partim confirmatus: deniq; omnibus suis
membris collatus ad alia cognati argumenti opera, quæ Author ex illo tem-
pore sub duorum Imp. Rudolphi & Matthiæ auspiciis; etiamq; in
Illustr. Ord. Austriæ Supr-Anisana clientela
diuersis locis edidit.

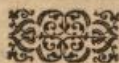
*Potissimum ad illustrandas occasiones Operis, Harmonice Mundi, dicti, eius-
que progressuum in materia & methodo.*

Addita et erudita NARRATIO M. GEORGII IOACHIMI RHETICI, de
Libris Revolutionum, atque admirandis de numero, ordine, & distantis Sphæra-
rum Mundi hypothesebus, excellentissimi Mathematici, totiusque Astronomiæ Re-
stauratoris D. NICOLAI COPERNICI.

ITEM,

Eiusdem IOANNIS KEPLERI pro suo Opere Harmonices Mundi APOLOGIA aduer-
sus Demonstrationem Analyticam Cl. P. D. Roberti de Flacibus, Me-
dici Oxoniensis.

Cum Privilegio Cæsareo ad annos XV.



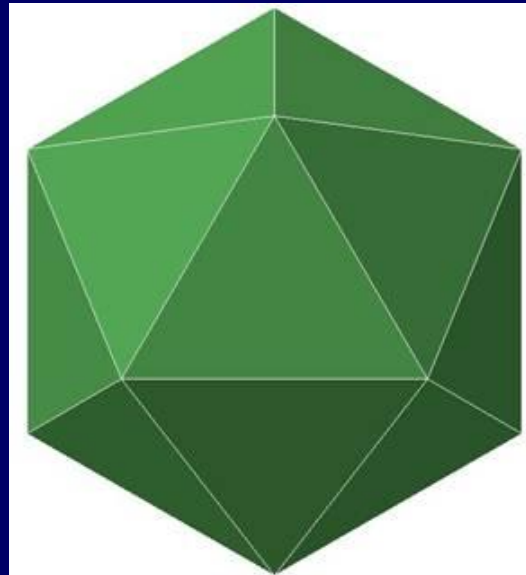
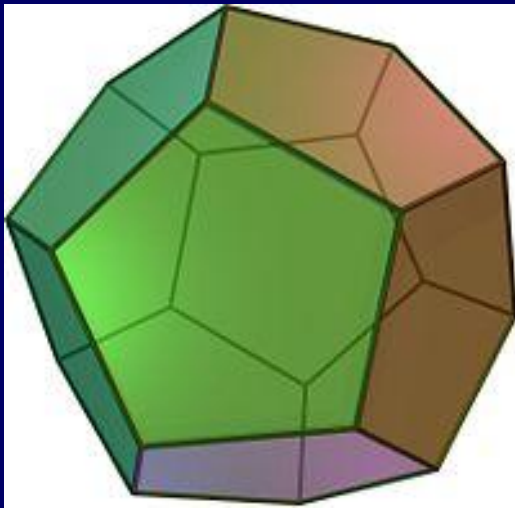
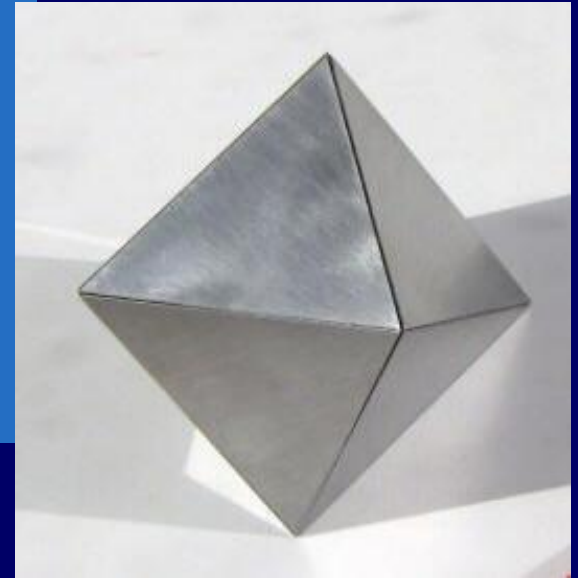
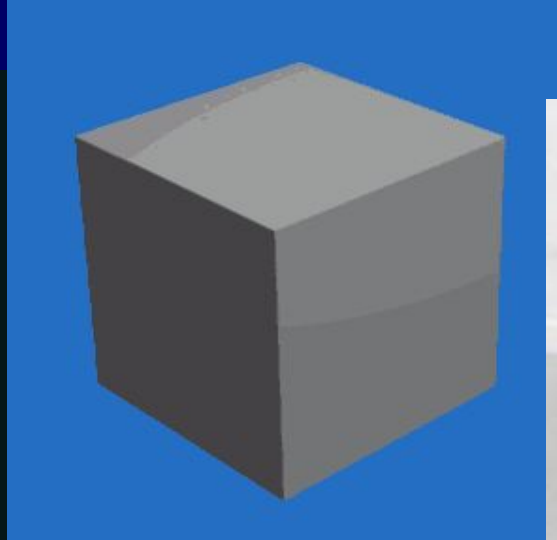
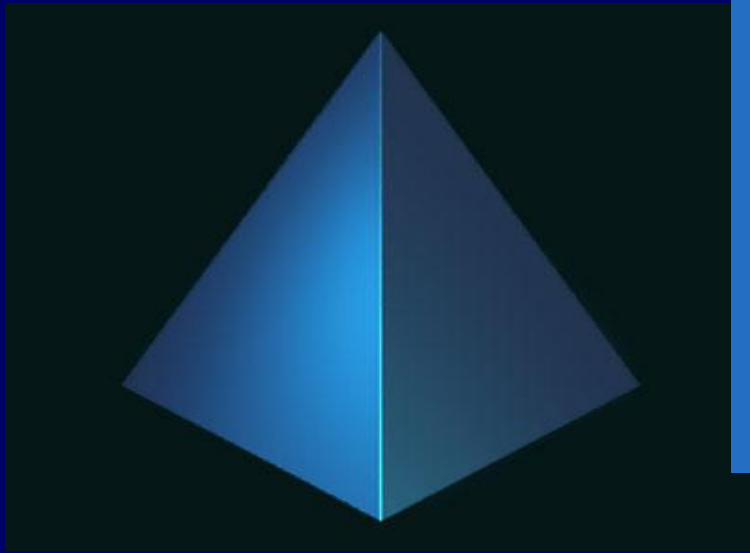
FRANCOFVRTI,
Recusus Typis ERASMI KEMPFERI, sumptibus
GODEFRIDI TAMPACHII.

Anno M. DC. XXI. Samuel Krook

UPPSALA UNIVERSITETS
ASTRONOMISKA OBSERVATORIUM

E. Bruman.
1723.

«Любезный читатель!
В этой книжке я
вознамерился доказать,
что всеблагой и
всемогущий Бог при
сотворении нашего
движущегося мира и при
расположении небесных
орбит избрал за основу
пять правильных тел,
которые со времен
Пифагора и Платона и до
наших дней снискали
столь громкую славу,
выбрал число и
пропорции небесных
орбит, а также отношения
между движениями
выбрал в соответствии с
природой правильных
тел.»



тетраэдр (4 треугольные
грани),
куб (6 граней-
квадратов),
октаэдр (8 треугольных
граней),
додекаэдр (12
пятиугольных
граней),
икосаэдр (20
треугольных граней)

В **1600 году** Кеплер прибывает в Прагу. Проведённые здесь 10 лет — самый плодотворный период его жизни. В 1604 году Кеплер публикует свои наблюдения сверхновой, называемой теперь его именем.

В **1610 году** Галилей сообщает Кеплеру об открытии спутников Юпитера. Кеплер встречает это сообщение недоверчиво и в полемической работе «Разговор со Звёздным вестником» приводит несколько юмористическое возражение: «непонятно, к чему быть [спутникам], если на этой планете нет никого, кто бы мог любоваться этим зрелищем»

Ioannis Keppleri
**HARMONICES
MUNDI**

LIBRI V. QVORVM

Primus GEOMETRICVS, De Figurarum Regularium, quæ Proportionibus Harmonicas constituunt, ortu & demonstrationibus.
Secundus ARCHITECTONICVS, seu ex GEOMETRIA FIGVRATA, De Figurarum Regularium Congruentia in plano vel solido:
Tertius propriè HARMONICVS, De Proportionum Harmonicarum ortu ex Figuris; deque Naturâ & Differentiis rerum ad cantum pertinentium, contra Veteres:
Quartus METAPHYSICVS, PSYCHOLOGICVS & ASTROLOGICVS, De Harmoniarum mentali Effentiâ earumque generibus in Mundo; præsertim de Harmonia radiorum, ex corporibus cœlestibus in Terram descendentibus, eiusque effectû in Natura seu Anima sublunari & Humana:
Quintus ASTRONOMICVS & METAPHYSICVS, De Harmoniis absolutissimis motuum cœlestium, ortuque Eccentricitatum ex proportionibus Harmonicis.
Appendix habet comparationem huius Operis cum Harmonices Cl. Ptolemæi libro II I. cumque Roberti de Fluctibus, dicti Flud. Medici Oxoniensis speculationibus Harmonicis, operi de Macrocosmo & Microcosmo insertis.



Cum S. C. M^{te}. Priuilegio ad annos XV.

Lincii Austriæ,

Sumptibus GODOFREDI TAMPACHII Bibl. Francof.
Excudebat IOANNES PLANCVS.

ANNO M. DC. XIX.

в 1618 году Кеплер открывает *третий закон*: отношение куба среднего удаления планеты от Солнца к квадрату периода обращения её вокруг Солнца есть величина постоянная для всех планет:

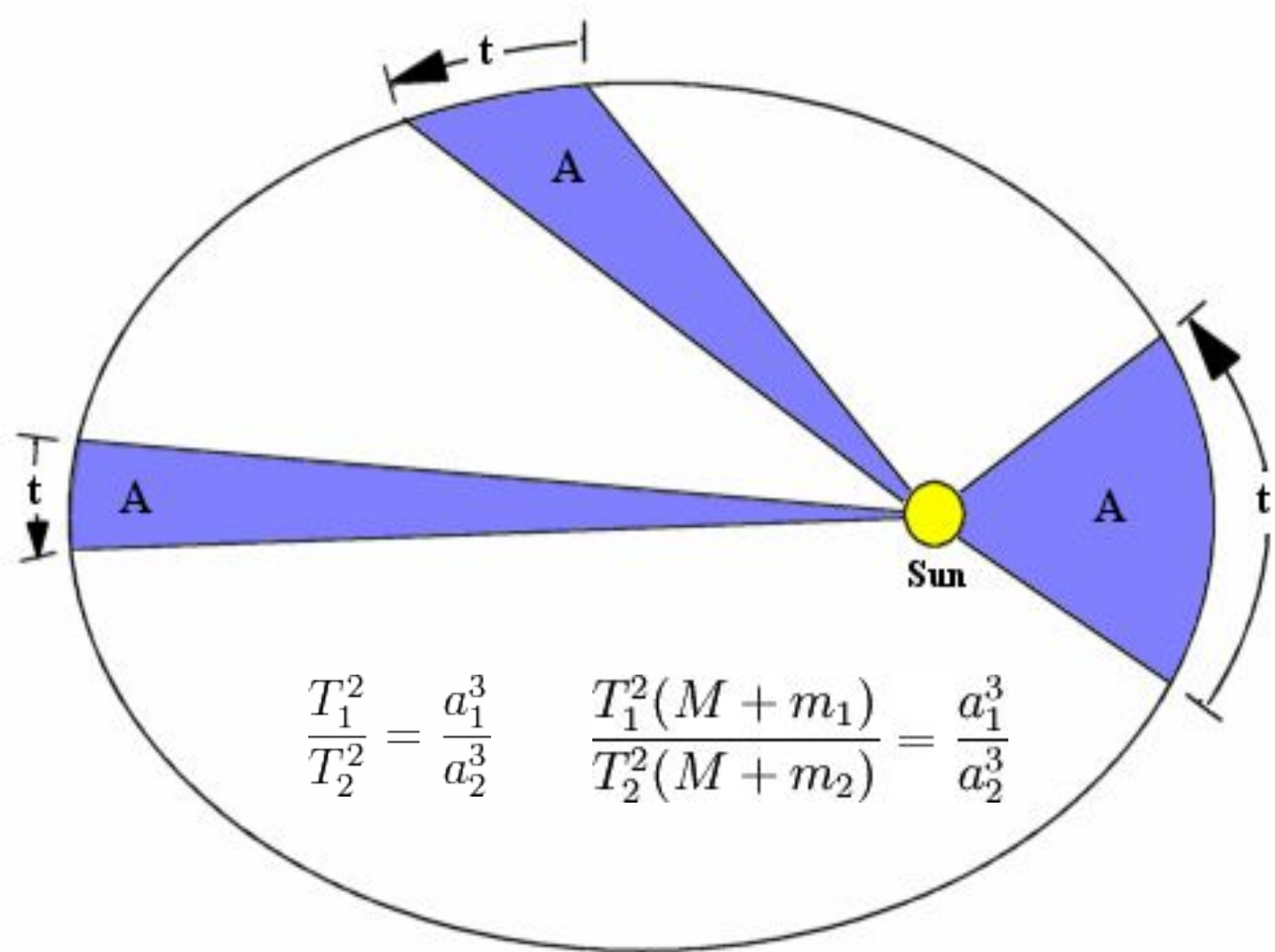
$$a^3/T^2 = \text{const.}$$

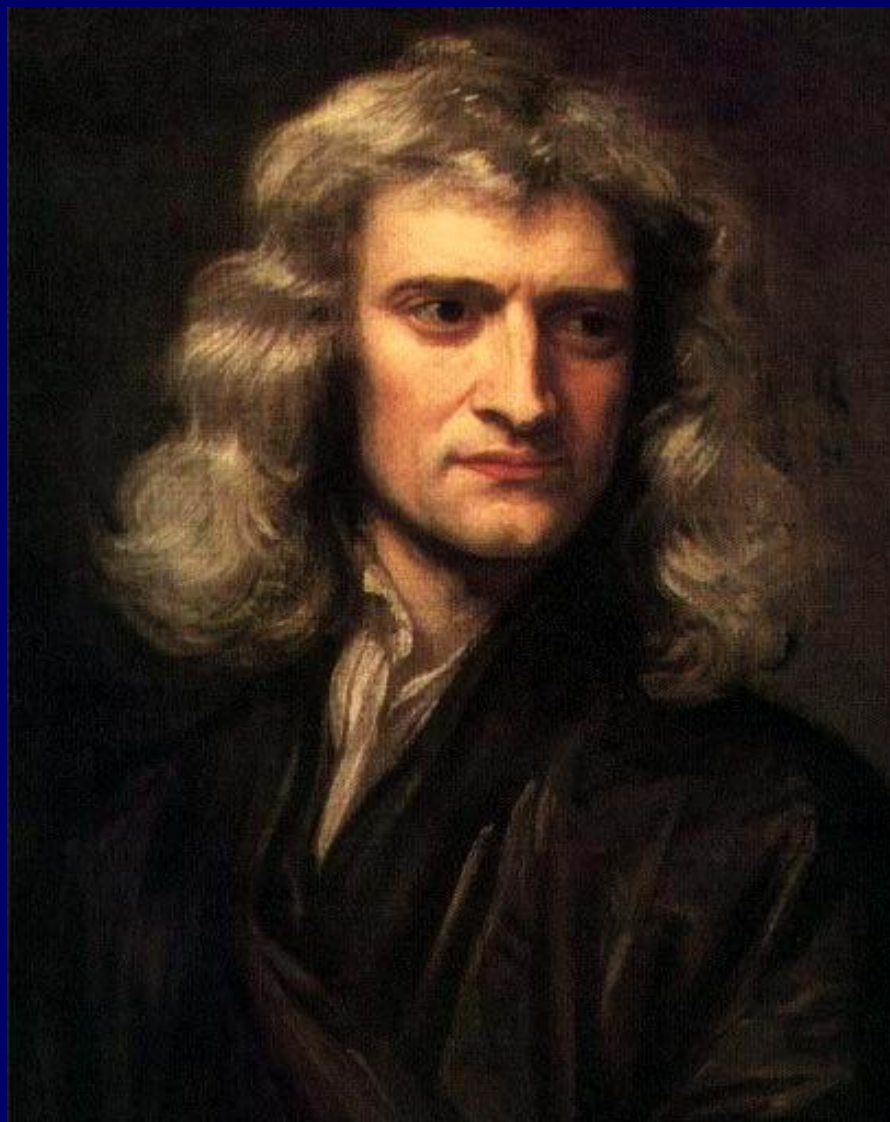
Этот результат Кеплер публикует в завершающей книге

«Гармония мира»,

причём применяет его уже не только к Марсу, но и ко всем прочим планетам (включая, естественно, и Землю), а также к галилеевым спутникам.

1st Edition 1st issue
6 plates on 5





Исаак Ньютон (Sir Isaac Newton)
4 января 1643 — 31 марта 1727

В канун Рождества 1664 года на лондонских домах стали появляться красные кресты — первые метки Великой эпидемии чумы.

8 августа 1665 года занятия в Тринити-колледже были прекращены и персонал распущен до окончания эпидемии.

Но существенную часть своих научных открытий Ньютон сделал в уединении «чумных лет». Из сохранившихся заметок видно, что 23-летний Ньютон уже свободно владел базовыми методами дифференциального и интегрального исчислений, включая разложение функций в ряды и то, что впоследствии было названо формулой Ньютона-Лейбница. Проведя ряд остроумных оптических экспериментов, он доказал, что белый цвет есть смесь цветов.

Но самым значительным его открытием
в эти годы стал

закон всемирного тяготения.

PHILOSOPHIÆ
NATURALIS
PRINCIPIA
MATHEMATICA.

Autore J. S. NEWTON, Trin. Coll. Cantab. Soc. Matheseos
Professore Lucasiano, & Societatis Regalis Sodali.

IMPRIMATUR.
S. PEPYS, Reg. Soc. PRÆSES.
Julii 5. 1686.

LONDINI,

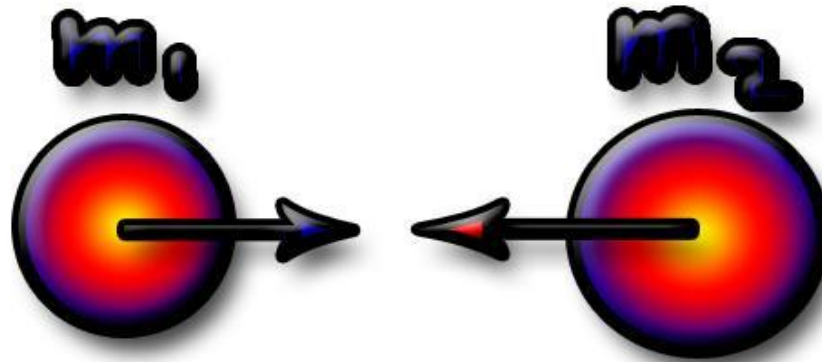
Jussu Societatis Regiæ ac Typis Josephi Streater. Prostat apud
plures Bibliopolas. Anno MDCLXXXVII.

28 апреля **1686** года
первый том
«Математических
начал» был
представлен
Королевскому
обществу.

Все три тома, после
некоторой авторской
правки, вышли в **1687**
году.

Тираж (около 300
экземпляров) был
распродан за 4 года —
для того времени
очень быстро.

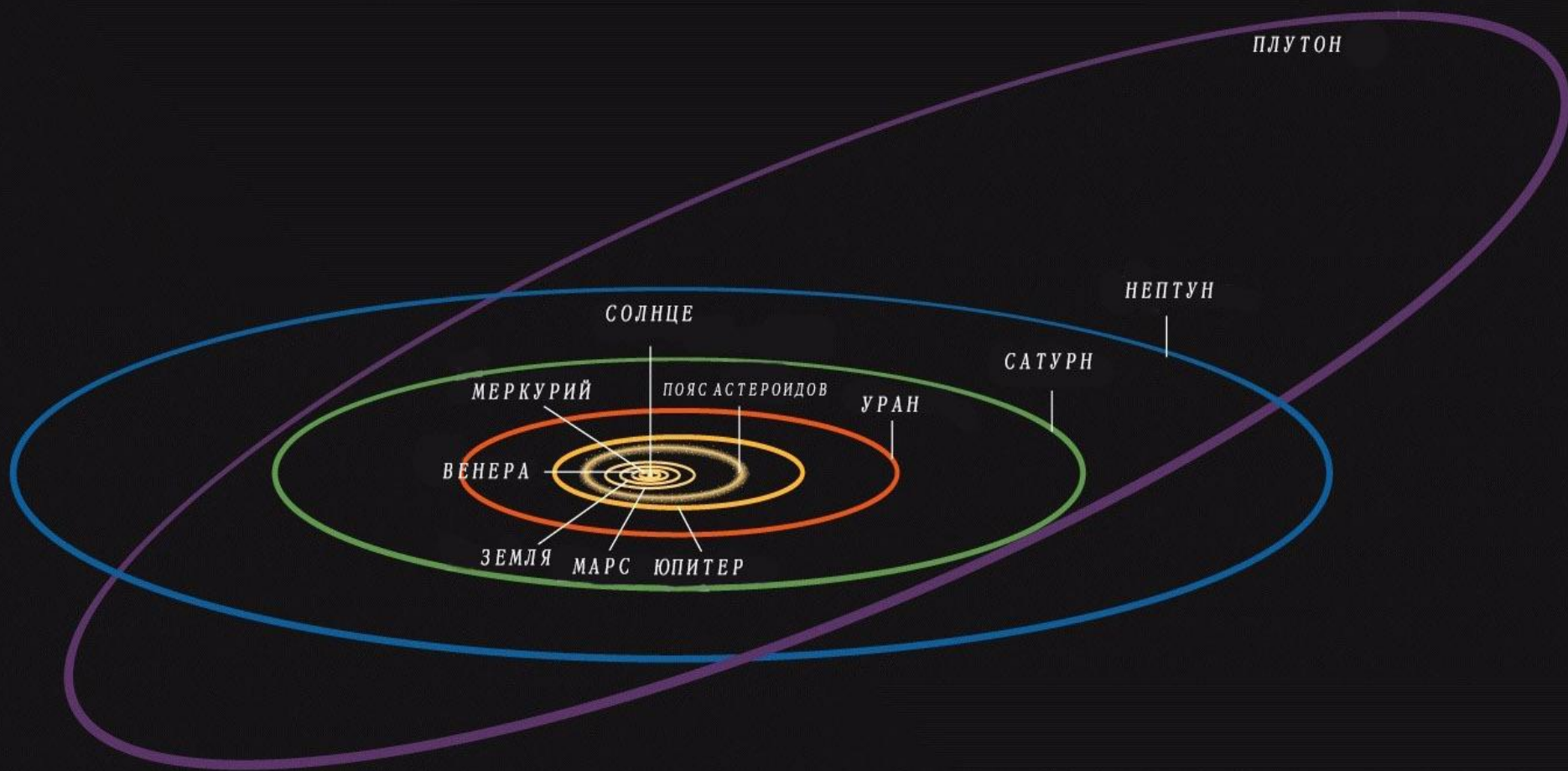
Сила тяготения



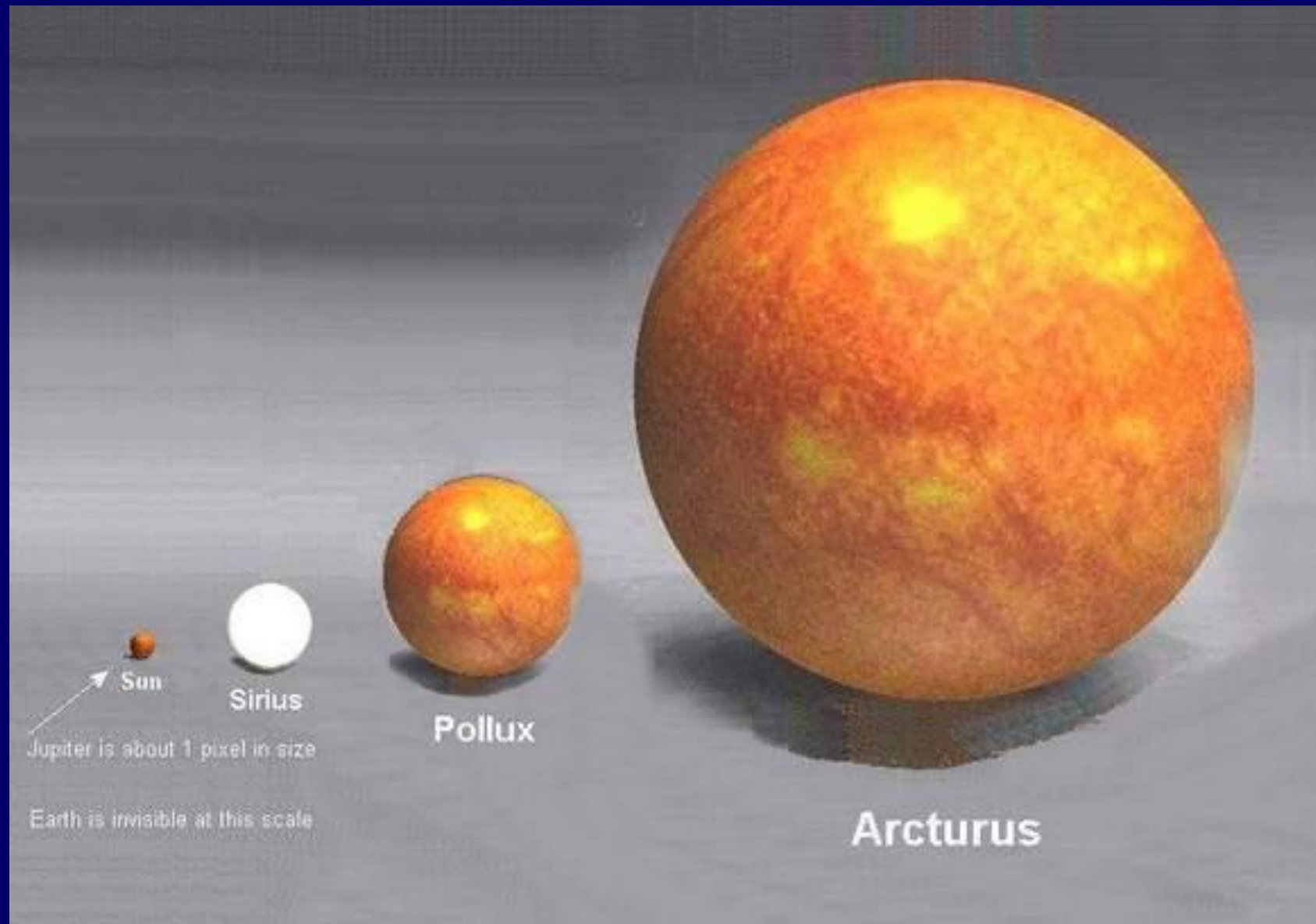
$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{R^2}$$



Солнечная система



Нормальные звезды



Нормальные звезды

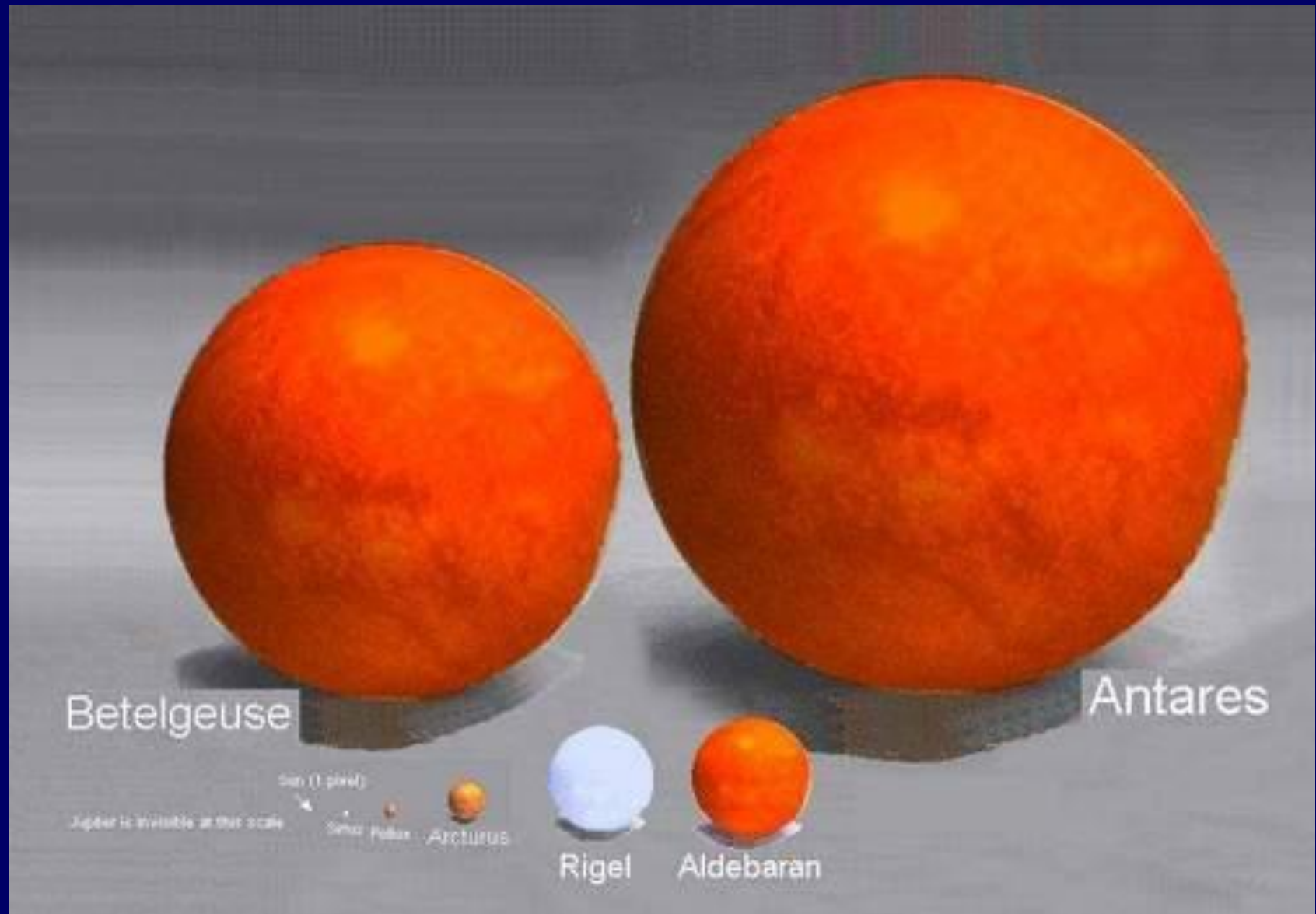




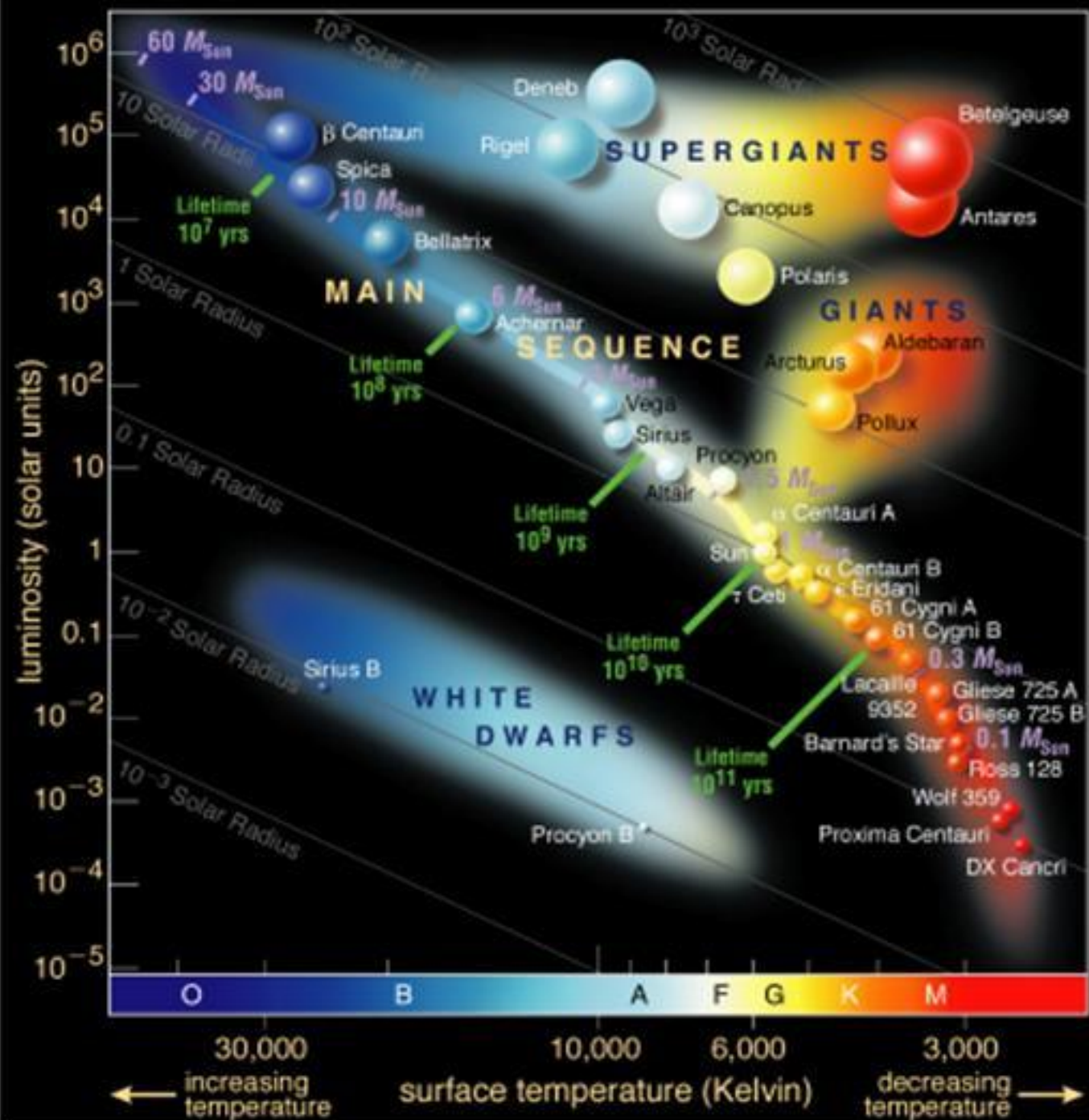
Диаграмма Герцшпрунга-Рессела (1910 г.)



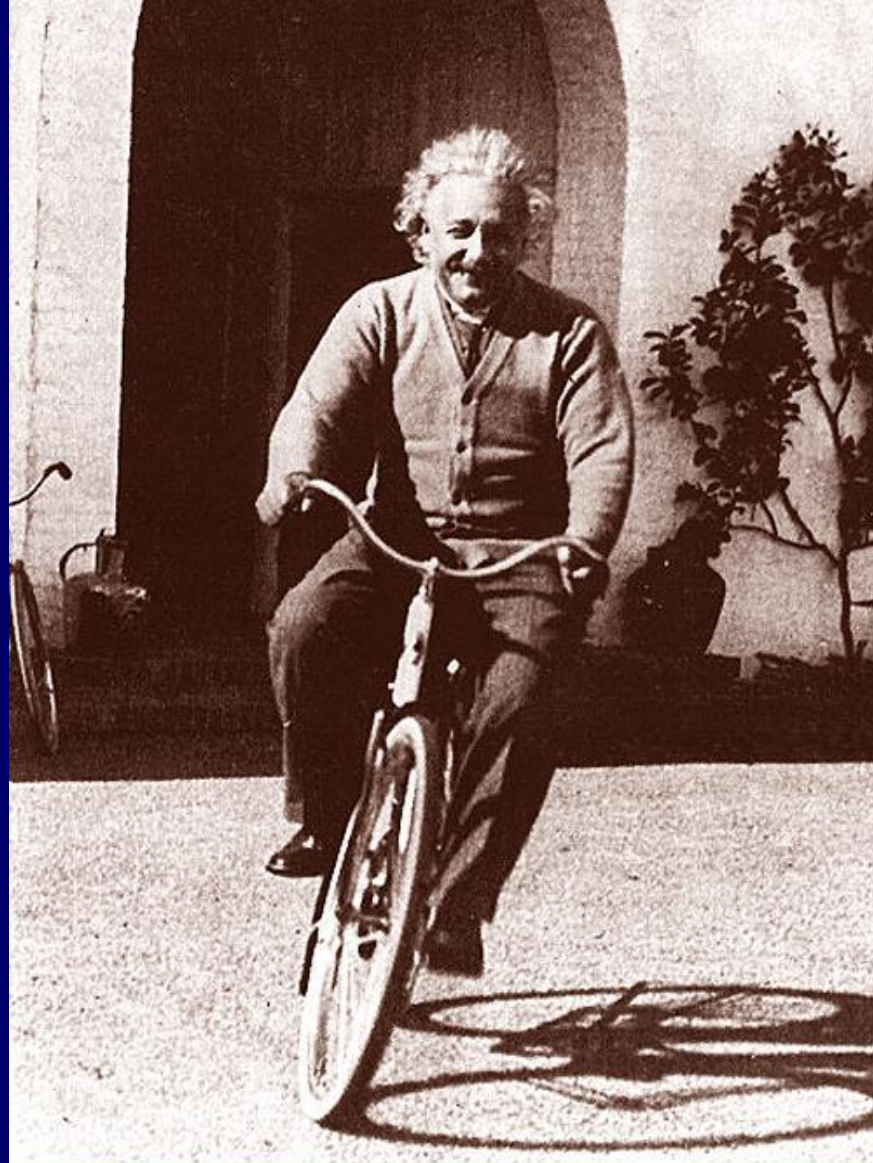
Эйнар Херцшпрунг
(*Ejnar Hertzsprung*)
1873 — 1967



Генри Рессел
(*Henry Norris Russell*)
1877 — 1957



Современные модели эволюции
Вселенной базируются на
принципах Общей Теории
Относительности
(1915-1916 гг.)



*Альберт
Эйнштейн
(1879-1955)*

Уравнения Эйнштейна не налагают никаких ограничений на используемые для описания пространства-времени координаты.

Они ограничивают выбор лишь 6 из 10 независимых компонент симметричного метрического тензора.

Поэтому **их решение неоднозначно** без введения некоторых ограничений на компоненты метрики, соответствующих однозначному заданию координат в рассматриваемой области пространства-времени, и называемых *координатными условиями*.

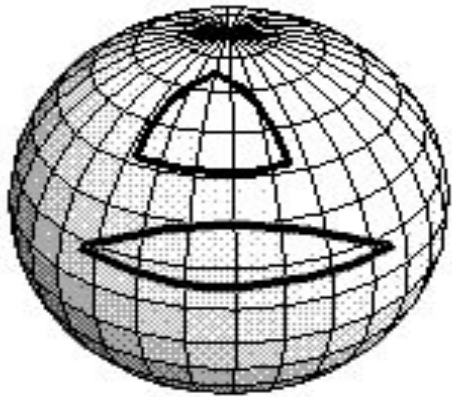
Решая уравнения Эйнштейна совместно с правильно подобранными координатными условиями, можно найти все 10 независимых компонент симметричного метрического тензора.

Этот метрический тензор (метрика) описывает свойства пространства-времени в данной точке и используется для описания результатов физических экспериментов.

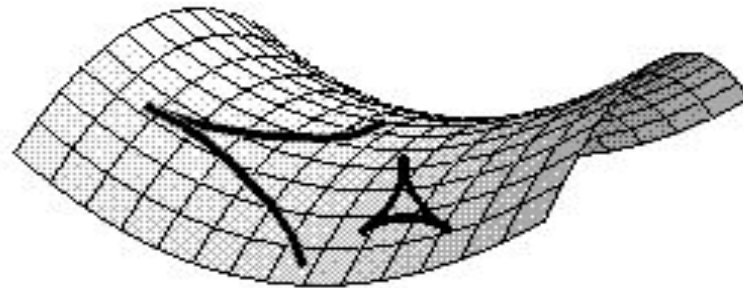
Он позволяет задать квадрат интервала в искривлённом пространстве

$$ds^2 = g_{\mu\nu}(x) dx^\mu dx^\nu$$

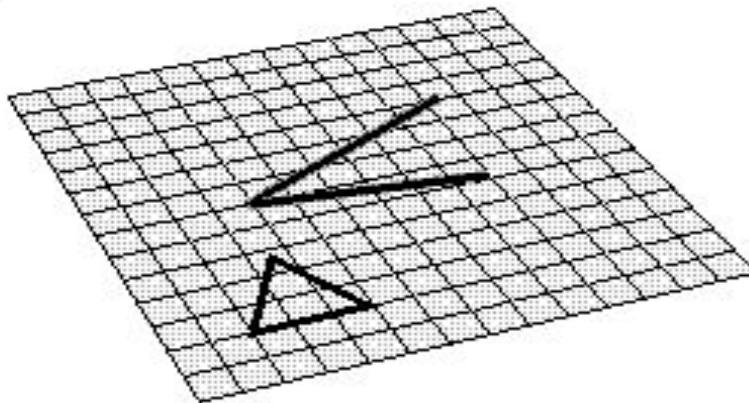
Пространства разной кривизны



Universe with *positive* curvature. Diverging line converge at great distances. Triangle angles add to more than 180° .



Universe with *negative* curvature. Lines diverge at ever increasing angles. Triangle angles add to less than 180° .



Universe with no curvature. Lines diverge at constant angle. Triangle angles add to 180° .

Траектория тела в гравитационном поле



В наиболее простом случае пустого
пространства
(тензор энергии-импульса равен нулю)
одно из решений уравнений Эйнштейна
описывается
метрикой Минковского
Специальной Теории Относительности

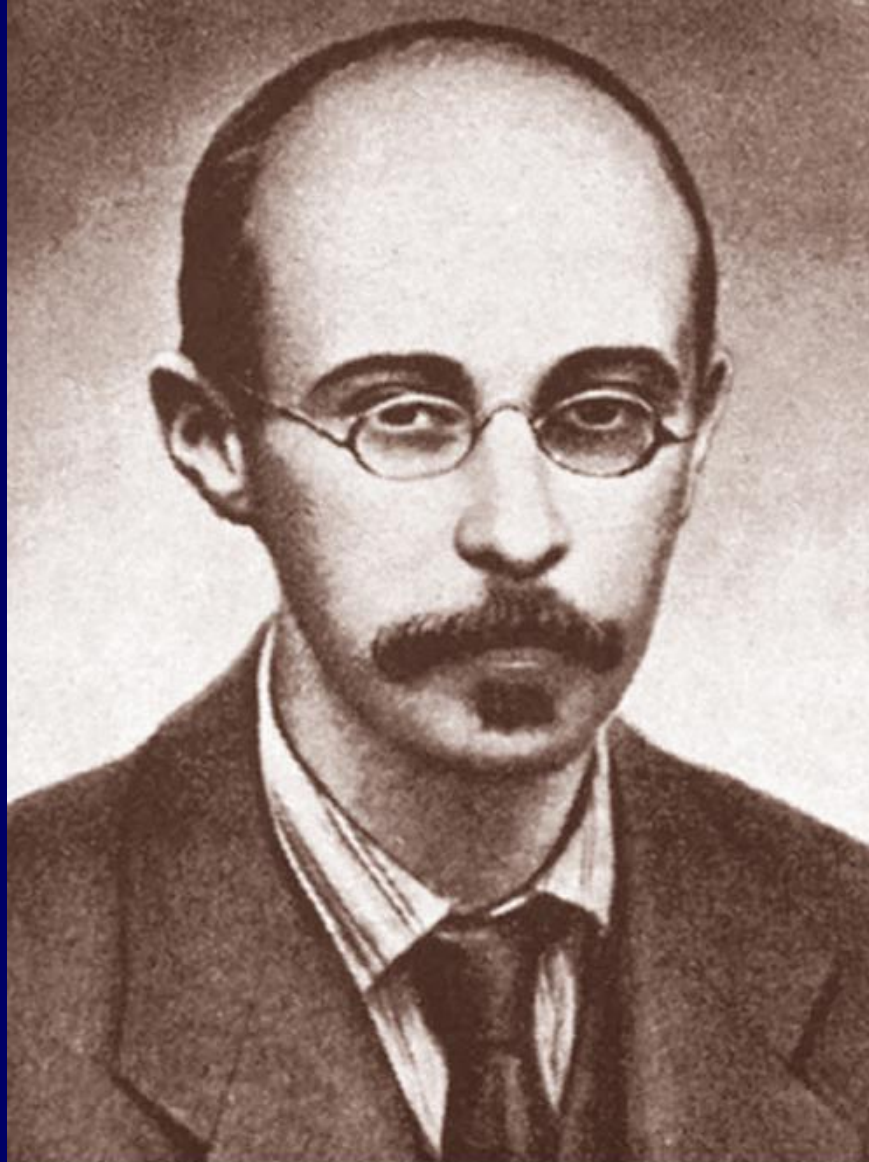
$$ds^2 = c^2 dt^2 - dx^2 - dy^2 - dz^2$$

Первую попытку описания Вселенной на основе ОТО предпринял сам Эйнштейн в 1917 г.

Он считал, что безграничная Вселенная замкнута на себя, пространственно конечна и стационарна во времени.

Её радиус кривизны не должен меняться.

Однако, при решении мировых уравнений не удастся получить устойчивую стационарную модель мира.



*Александр Александрович
Фридман
(1888-1925)*

А.Эйнштейн: Замечание к работе А. Фридмана "О кривизне пространства"

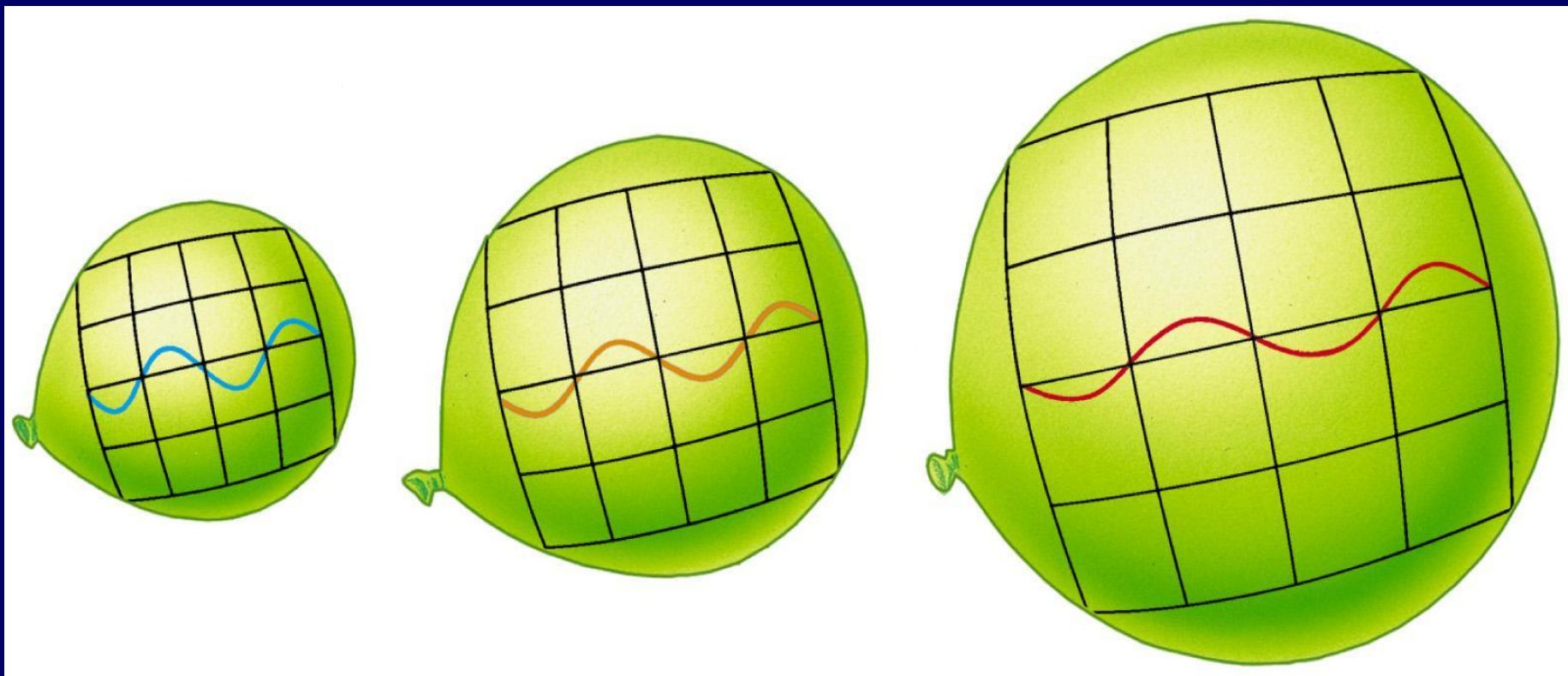
Результаты относительно нестационарного мира, содержащиеся в упомянутой работе, представляются мне подозрительными.

В действительности оказывается, что указанное в ней решение не удовлетворяет уравнениям поля <...> значение этой работы в том и состоит, что она доказывает

постоянство радиуса мира во времени.

18 сентября 1922 г.

Расширение Вселенной



А.Эйнштейн: К работе А.Фридмана "О кривизне пространства"

*В предыдущей заметке я подверг критике
названную выше работу.*

*Однако моя критика, как я убедился из письма
Фридмана, основывалась на ошибке в
вычислениях.*

*Я считаю результаты Фридмана правильными и
проливающими новый свет.*

*Оказывается, что уравнения поля допускают
наряду со статическими также и
динамические (т.е. переменные относительно
времени) решения для структуры
пространства.*

31 мая 1923 г.

Эйнштейн ввёл в уравнения дополнительный
"космологический член" Λ (лямбда).

Эта постоянная величина имела необычный
физический смысл

силы отталкивания,

призванной уравновесить взаимное тяготение
масс Вселенной.

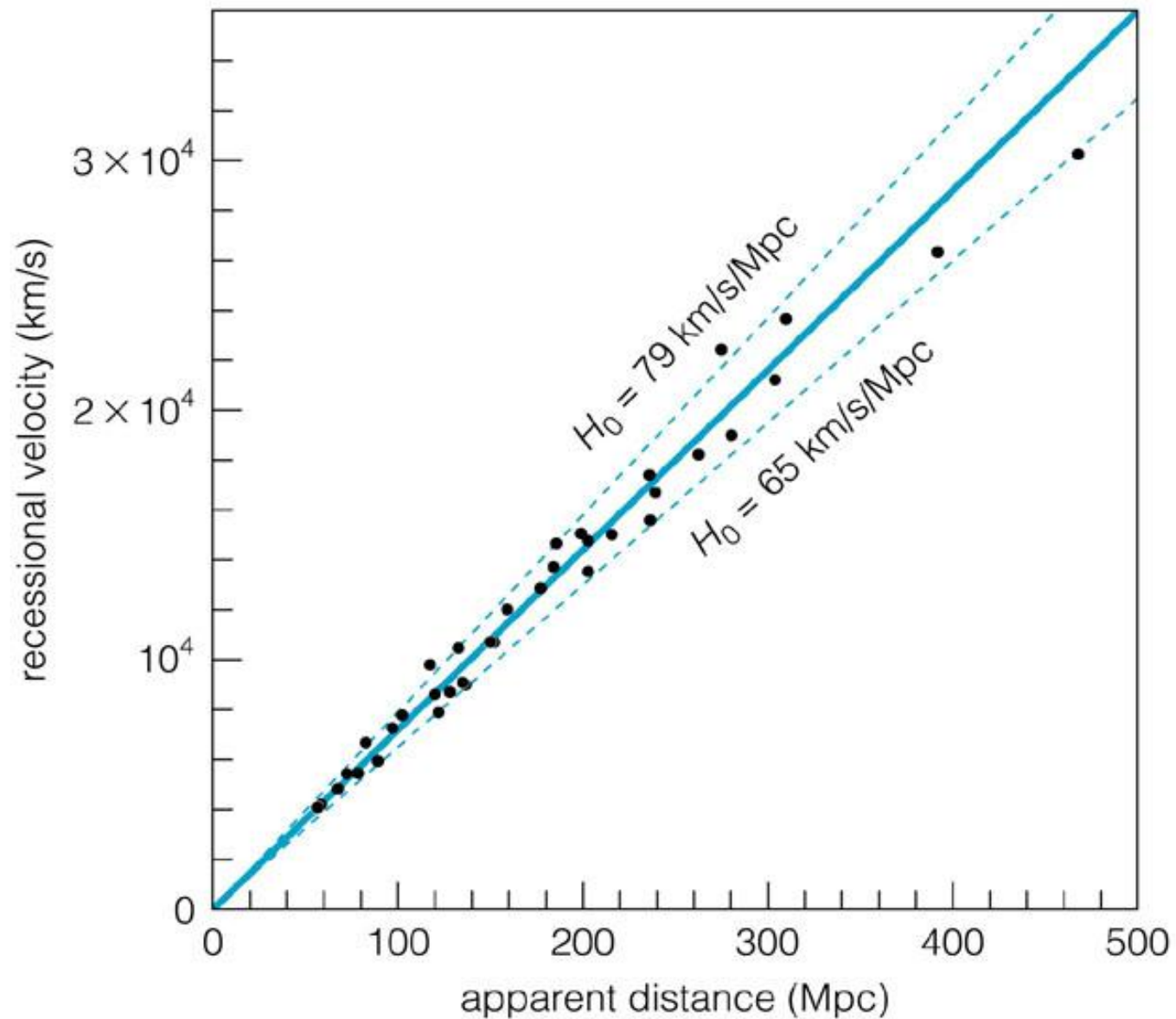
Для её введения у Эйнштейна не было
достаточных оснований.

$$R_{\mu\nu} - \frac{R}{2} g_{\mu\nu} + \underline{\underline{\Lambda}} g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$



*Эдвин
Хаббл
(1889-1953)*

Закон Хаббла







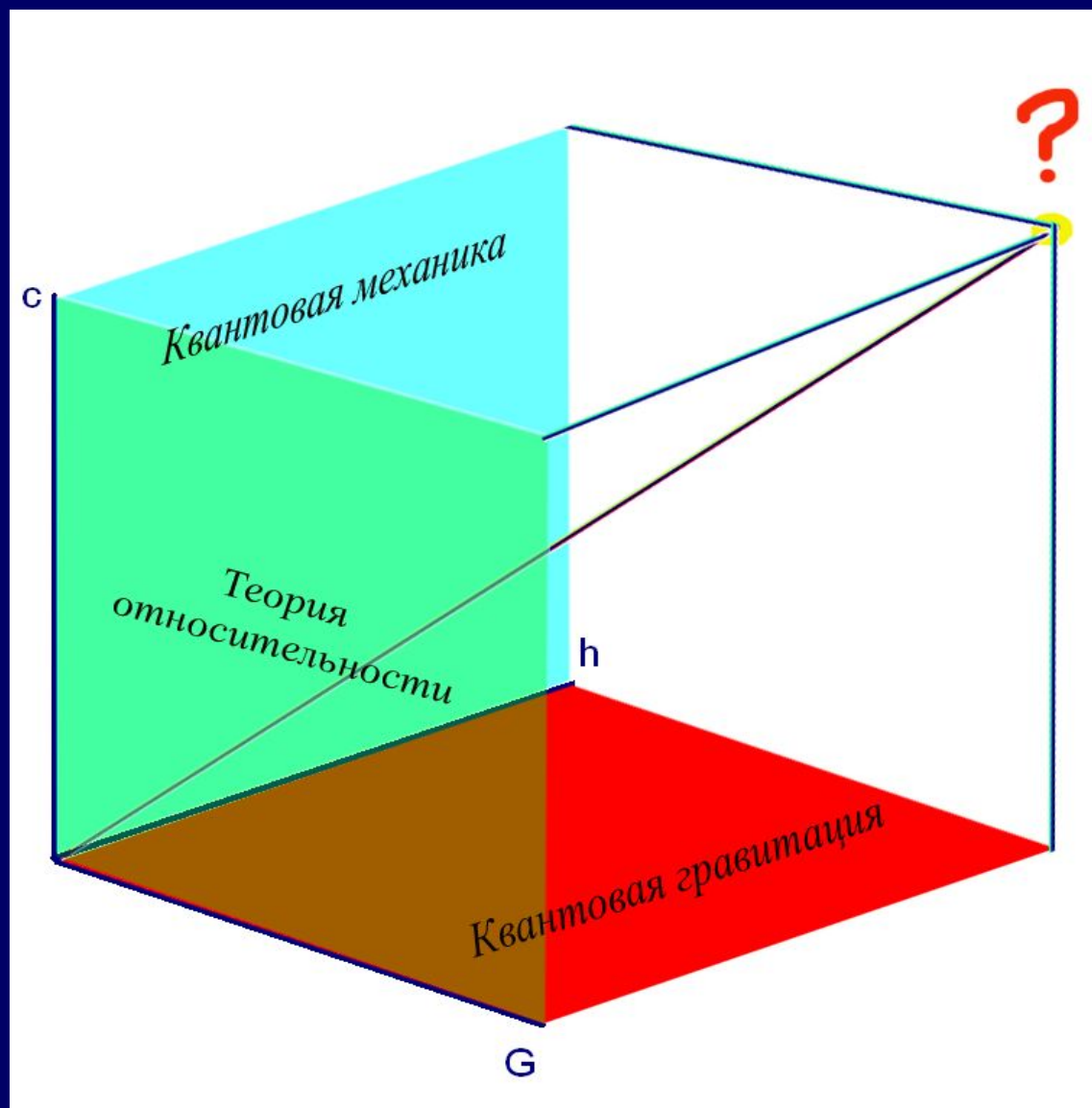


Телескоп Хаббла
24 апреля 1990



*Матвей Петрович
Бронштейн
(1906-1938)*

Квантование гравитации





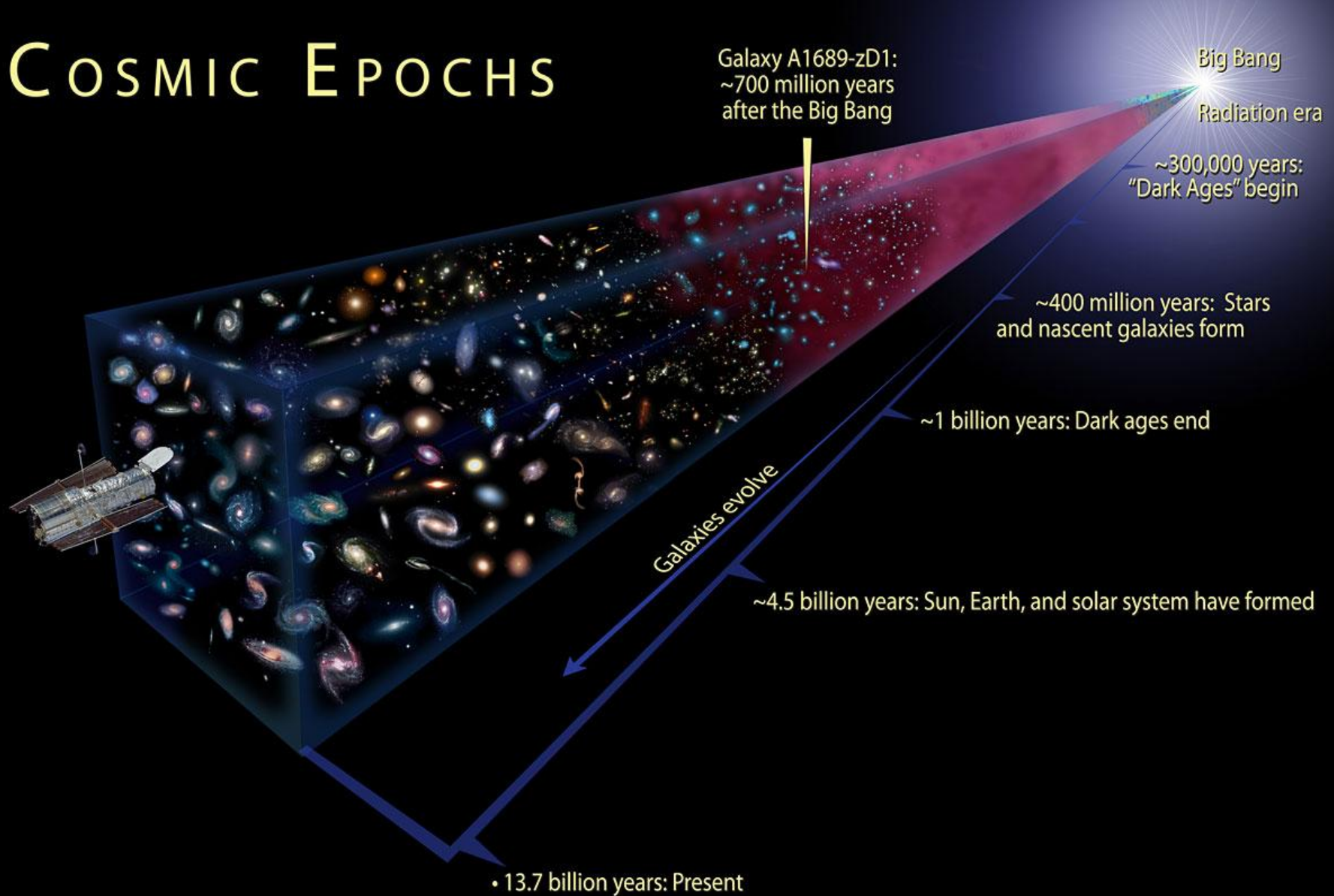
*Георгий Антонович
Гамов
(1904-1968)*

Теория Большого взрыва

- Теорию, созданную Г. Гамовым часто называют теорией "Большого Взрыва".
- В 50-х годах нашего века он предложил идею горячей Вселенной, применив в космологии идеи ядерной физики и термодинамики.
- В горячем и плотном веществе ранней Вселенной должны были происходить термоядерные реакции, которые приводят к наблюдаемому обилию химических элементов.

Стандартная космологическая модель

COSMIC EPOCHS



Краткая хронология

- 10^{-43} с - гравитационное взаимодействие отделилось от остальных (электромагнитное, слабое взаимодействие и сильное взаимодействие уже появились раньше)
- 10^{-35} - быстрое расширение (инфляция). После этого этапа Вселенная представляла собой плазму.
- Образуются первые частицы, нейтроны и протоны.
- Образуются простейшие атомы (дейтерий, изотопы гелия и пр.)
- Гравитация становится доминирующей силой.
- Через 400 тысяч лет после Большого Взрыва начинают образовываться атомы водорода.

**Обнаружение реликтового излучения.
А. Пензиас и Р. Уилсон, 1965 г.**



**Спектр реликтового излучения соответствует спектру
равновесного излучения абсолютно чёрного тела. Температура
реликтового излучения составляет 2.725 ± 0.002 K.**

Модель В. Де Ситтера. Раздувающаяся Вселенная.

Модель экспоненциального роста размеров Вселенной де Ситтера утверждает, что при $t = 0$ вся энергия мира была заключена в вакууме (ложный вакуум).

Деситтеровская стадия расширения длилась примерно 10^{-35} с. Все это время Вселенная быстро расширялась, заполняющий ее вакуум как бы растягивался без изменения своих свойств. Образовавшееся состояние Вселенной было крайне неустойчивым, энергетически напряженным.

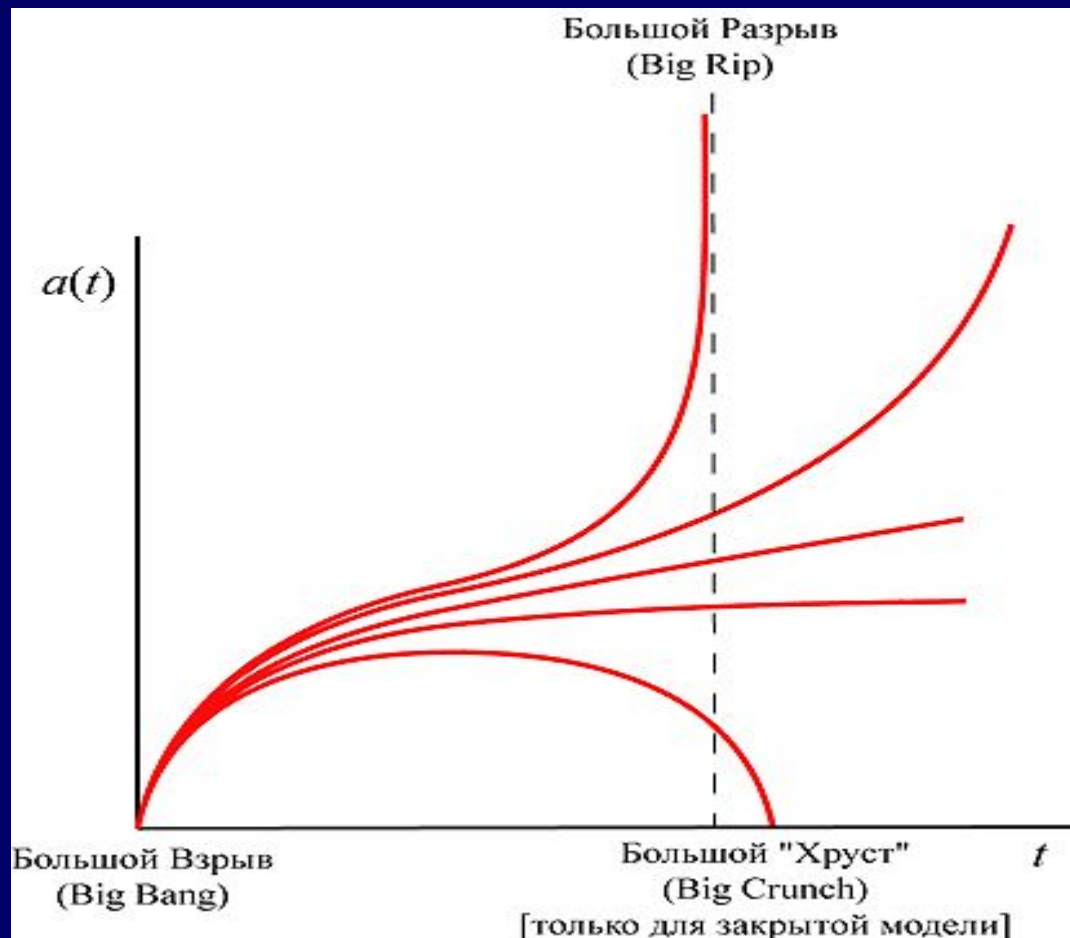
Модель В. Де Ситтера. Раздувающаяся Вселенная.

При переходе вакуума в другое состояние мгновенно выделилась колоссальная энергия за счет разности его начального и конечного состояний. Примерно за 10^{-32} с пространство раздулось в громадный шар с размерами много большими видимой нами части Вселенной. При этом произошло рождение из вакуума реальных частиц, из которых со временем сформировалось вещество нашей Вселенной.

Проблемой является объяснение причины того первотолчка, который был началом расширений нашей Вселенной.



Варианты эволюции Вселенной



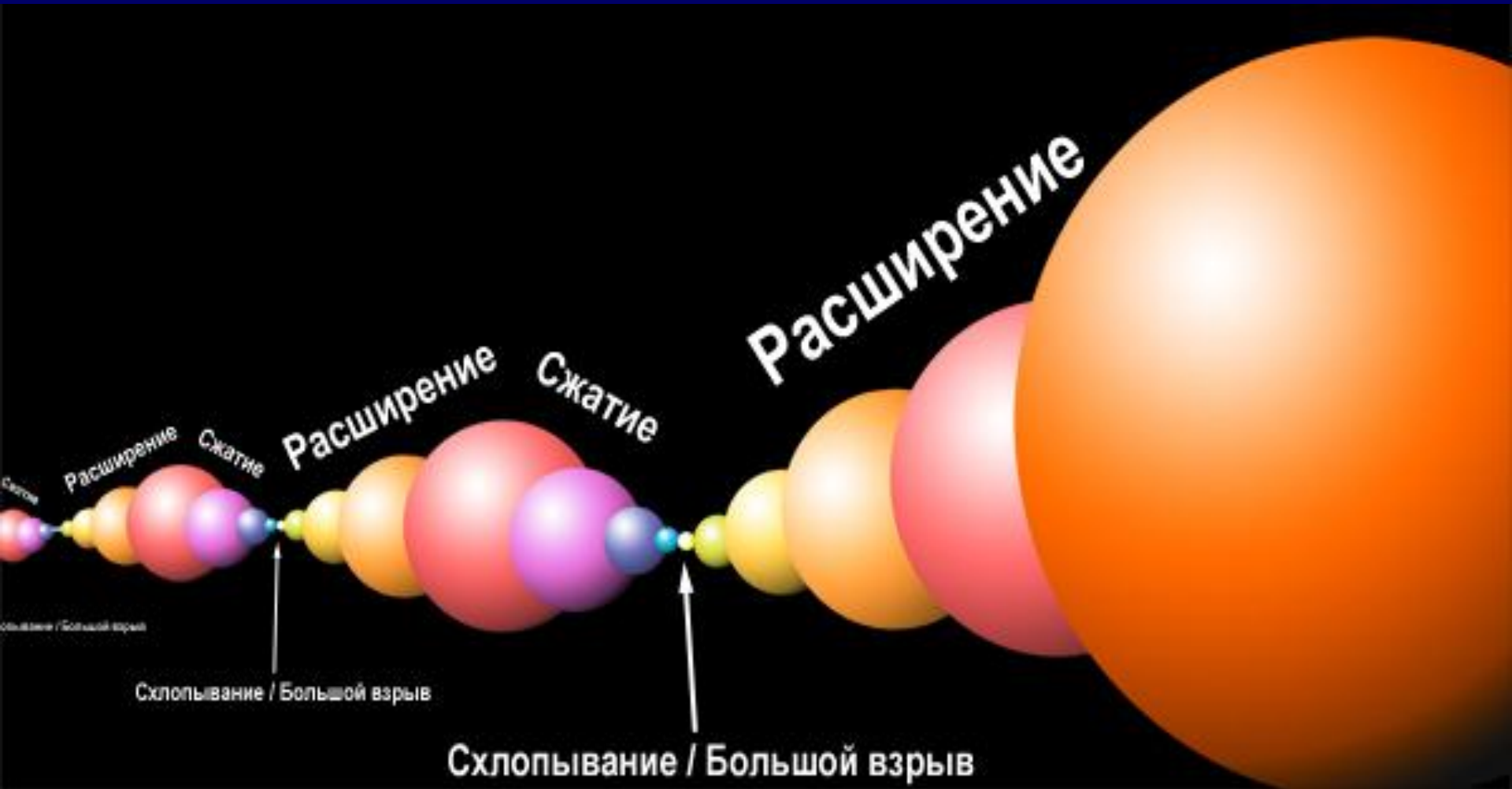
$a(t)$ — масштабный фактор. Графики показывают относительное изменение расстояний для любой галактики. Первые миллиарды лет галактики замедляли свое движение (с одинаковой 2-ой производной - для каждой модели - своей).

Нижняя кривая это модель Фридмана замкнутой Вселенной.

2-й и 3-й график для плоской и открытой Вселенной Фридмана.

4-й график - это современная модель нашей Вселенной с Темной Энергией. Он показывает, что первые 6-7млрд. лет галактики замедляли свое движение, далее вышли на равномерное, а затем ускоренное движение.

Осциллирующая Вселенная



Проблемы...

- *Проблема плоской Вселенной*

Почему плотность материи во Вселенной столь близка к неустойчивой критической величине между бесконечным расширением и повторным сжатием в Большом хрусте?

- *Проблема горизонта*

Почему Вселенная выглядит одинаковой во всех направлениях, хотя она возникла в виде причинно несвязанных областей? Эта проблема наиболее остра для очень гладкого космического микроволнового фонового излучения.

- *Проблема экзотических реликтов*

Фазовые переходы в ранней Вселенной неизбежно должны рождать топологические дефекты, такие как монополи, и экзотические частицы. Почему мы не наблюдаем их сегодня?

Проблемы...

- *Проблема термического равновесия*

Почему Вселенная возникла в состоянии термического равновесия, если не существует механизма для поддержания такого равновесия при очень высоких температурах.

- *Проблема временной шкалы*

Согласуются ли независимые измерения возраста Вселенной с использованием постоянной Хаббла со временем жизни звезд?

- *Проблема сингулярности*

Космологическая сингулярность при $t=0$ является состоянием с бесконечной плотностью энергии, поэтому Общая теория относительности предсказывает её распад.

Инфляционная модель.

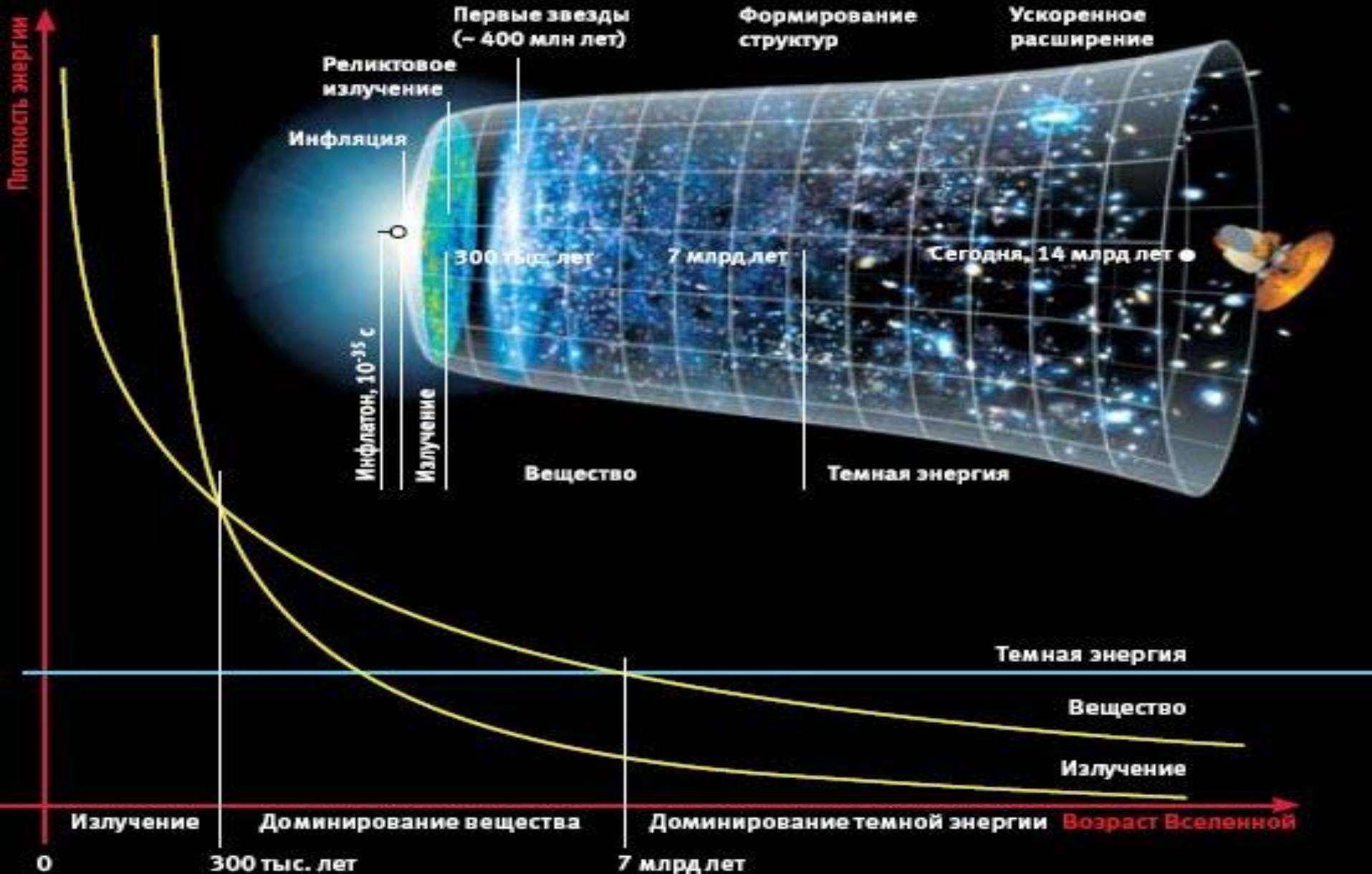
Алан Гут постарался связать основные проблемы с существованием пятой силы или скалярным полем.

Предположение состояло в том, что в природе наряду с гравитационным, электрическим, ядерным и слабым взаимодействиями должен быть еще один тип взаимодействия, описываемый скалярным потенциалом.

Скалярное поле в определенных условиях обладает свойствами **антигравитации** и именно на ранних этапах, через несколько планковских времен после появления Вселенной, оно обладает отрицательным давлением и «разгоняет» расширение Вселенной (инфляционная фаза расширения Вселенной).

Затем, вследствие фазового перехода, появляются обычные поля и частицы, а расширение замедляется, и Вселенная становится фридмановской.

Инфляция. (А. Старобинский, А. Гут. 1979 г.)



Проблемы...

- *Проблема флуктуаций плотности*

Возмущения, повлекшие гравитационные уплотнения, приведшие к формированию галактик, должны иметь изначальное происхождение; откуда они взялись?

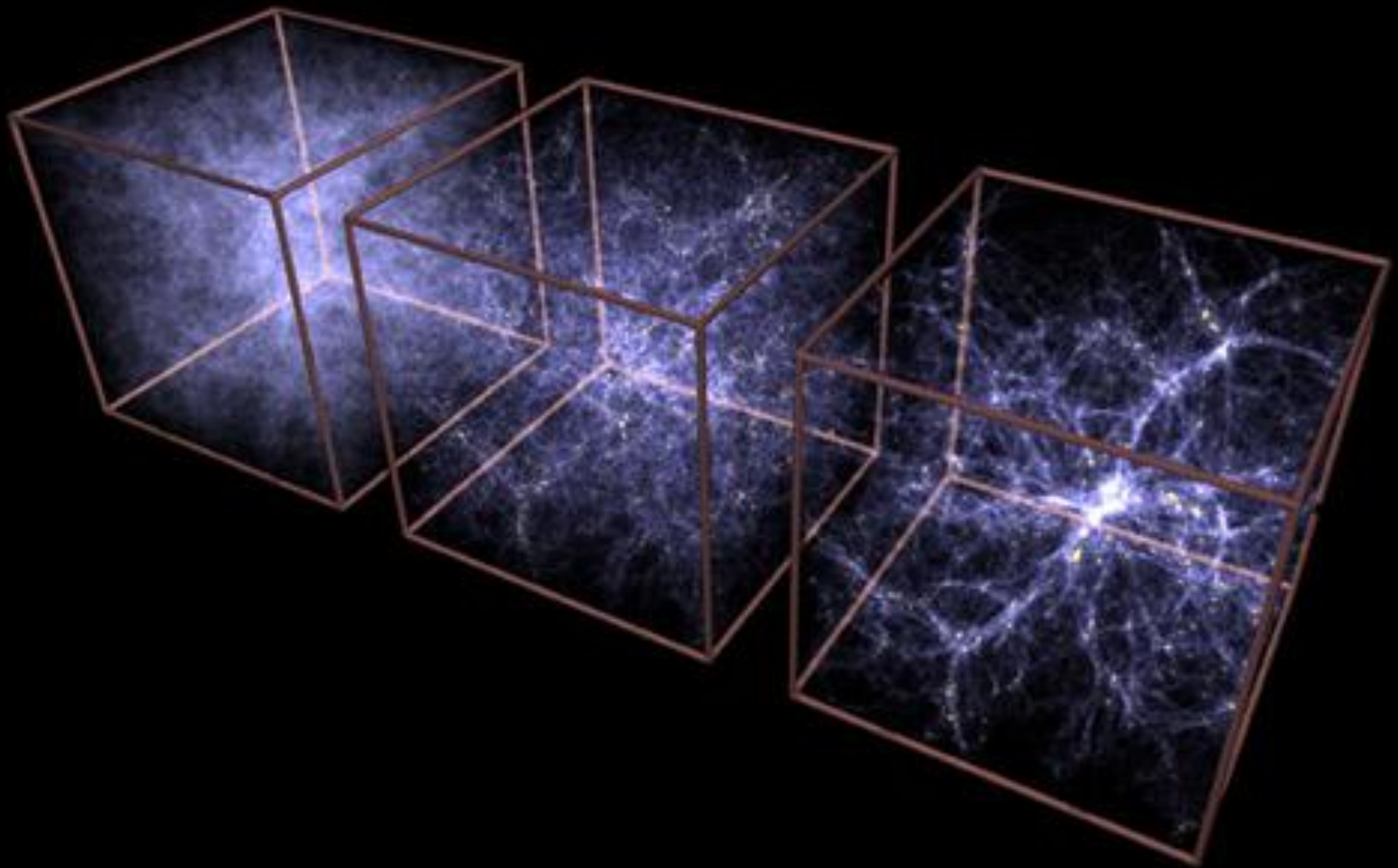
- *Проблема космологической постоянной*

Почему космологическая постоянная на 120 порядков величины меньше, чем ожидается из теории квантовой гравитации?

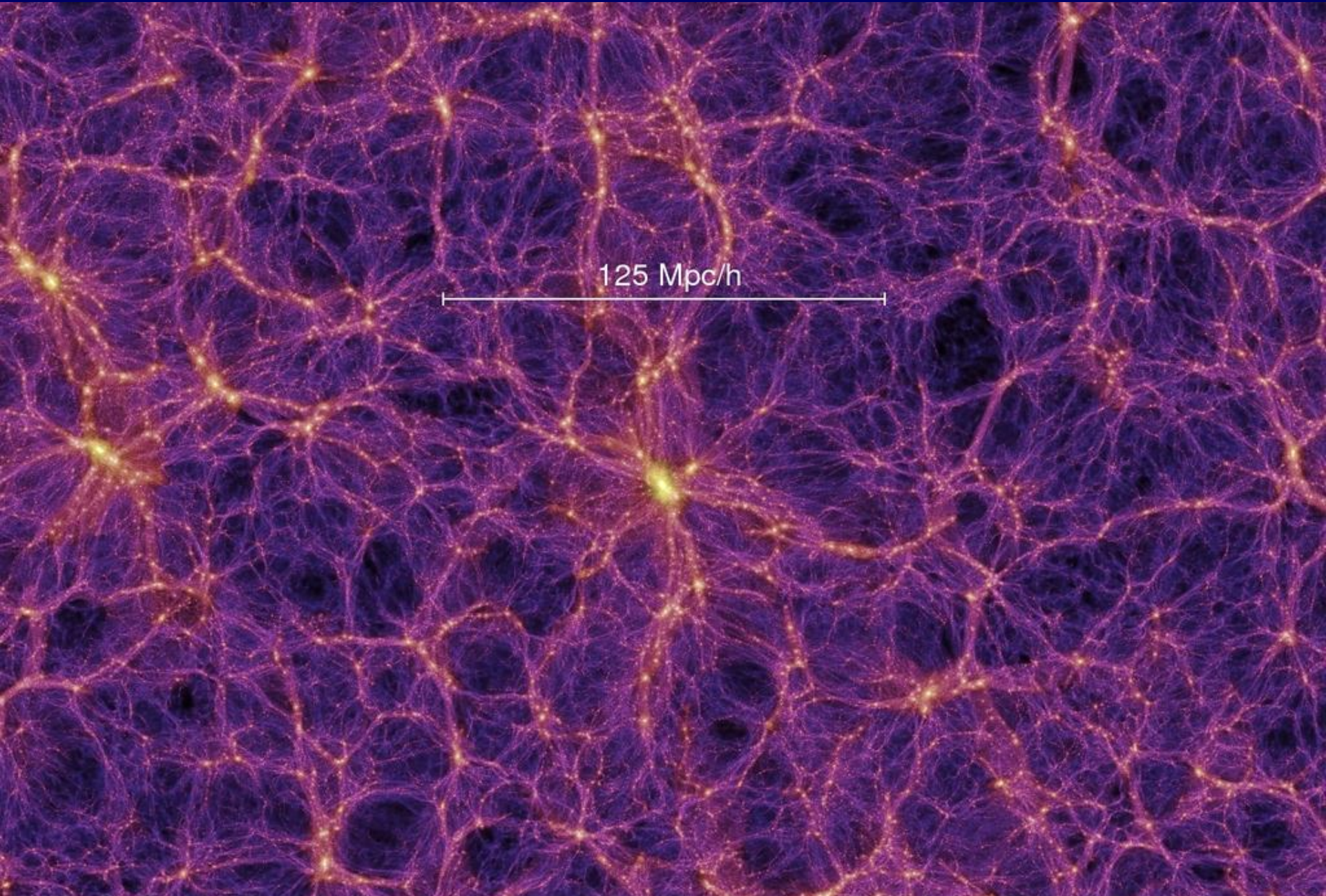
- *Проблема темной материи*

Из какого вещества состоит в основном Вселенная?
Расчеты нуклеосинтеза показывают, что темная материя Вселенной не состоит из обычной материи - нейтронов и протонов?

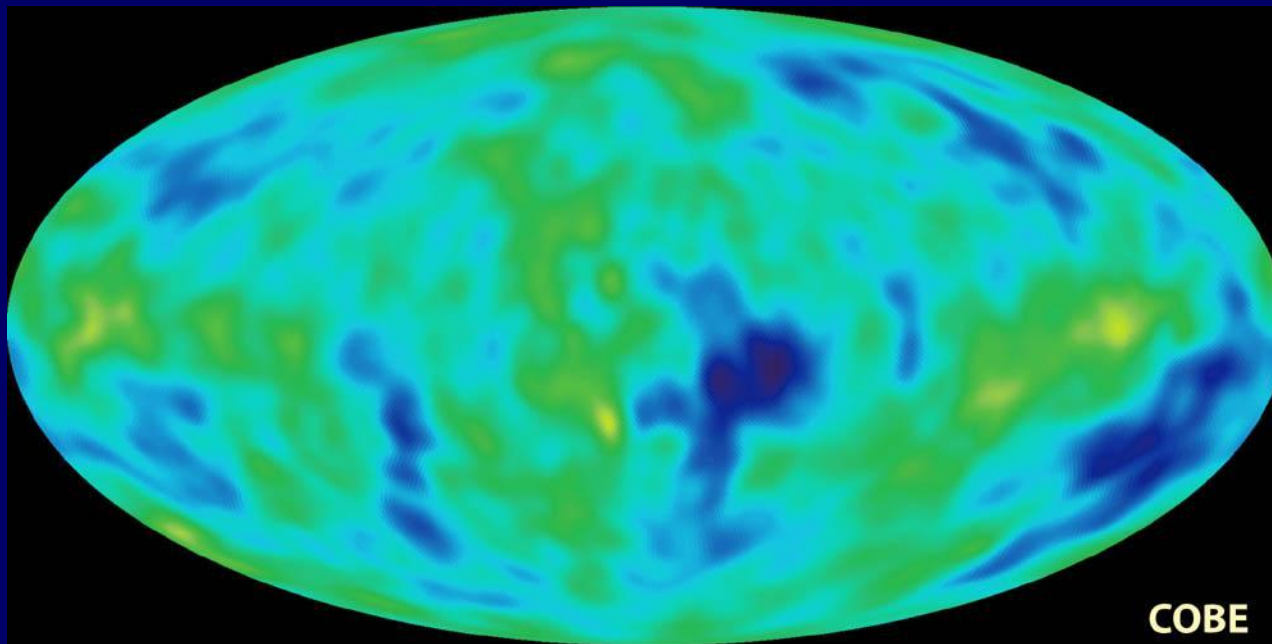
Динамика структурирования вещества Вселенной



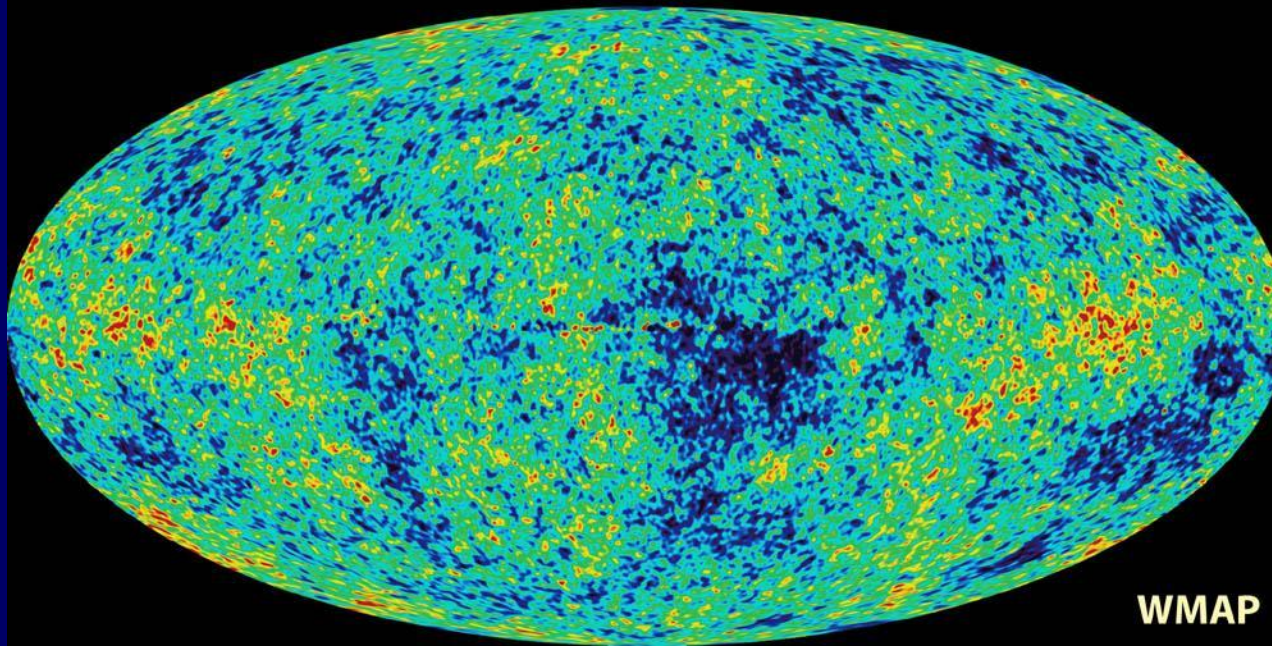
Распределение плотности вещества на больших масштабах (компьютерная модель)



Флуктуации реликтового фона



COBE



WMAP

Пространственно-временная пена

Вселенная рождается из квантовых флуктуаций высокоэнергетического физического вакуума.

Пузырьки физического вакуума то и дело возникают и лопаются, достигнув так называемого планковского размера в 10^{-33} см.

Топологические свойства разных пузырьков могут сильно различаться.

Внутри них могут быть различные свойства пространства-времени.

Например, пространственная размерность может отличаться от трех, а временная — от единицы. Аналогичная несхожесть может проявляться и в свойствах материи.

Один из пузырьков – наш...

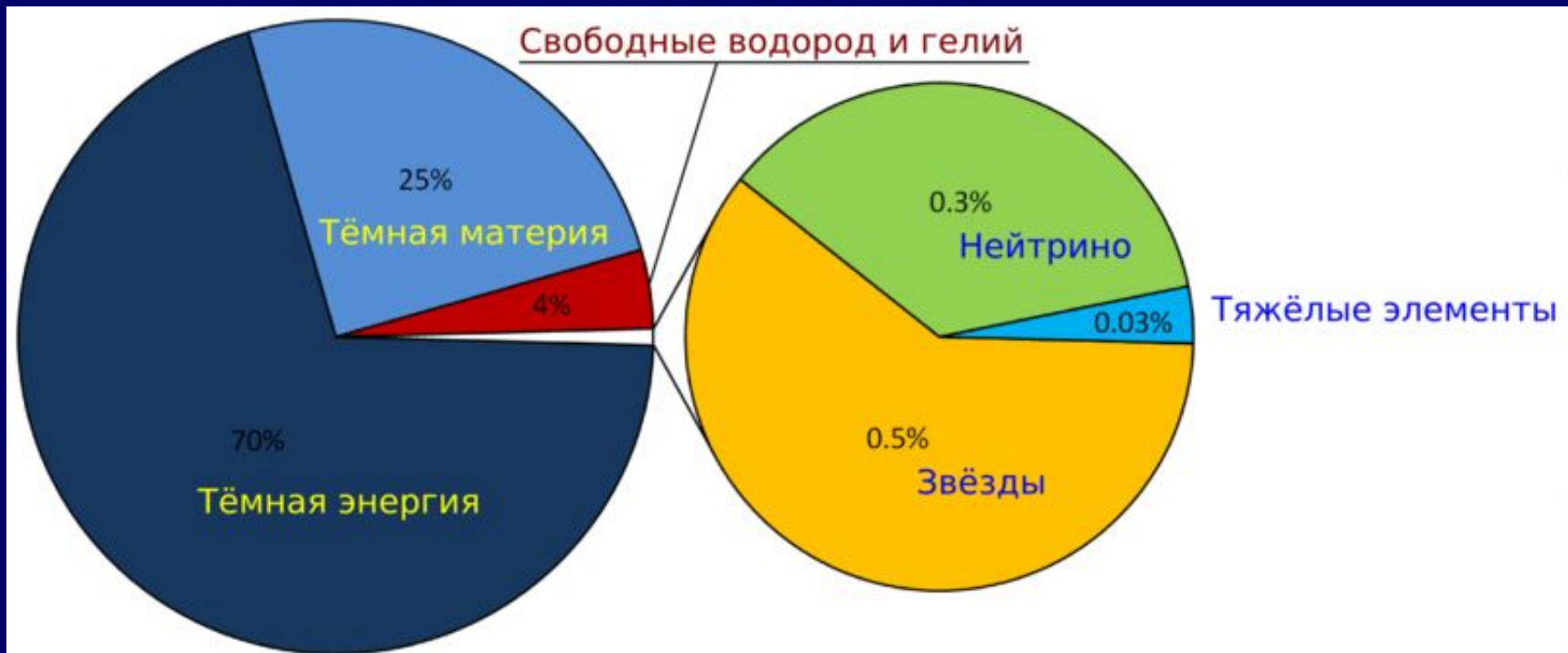


Современное представление о соотношении вещества и энергии Вселенной



Модель Лямбда-CDM

- Λ CDM — стандартная космологическая модель, в которой пространственно-плоская Вселенная заполнена, помимо обычной барионной материи, тёмной энергией (описываемой космологической постоянной Λ в уравнениях Эйнштейна) и холодной тёмной материей (Cold Dark Matter). Согласно этой модели возраст Вселенной равен $13,75 \pm 0,11$ млрд лет.



И что же это такое?

Тёмная материя - гипотетическая форма материи, которая не испускает электромагнитного излучения и не взаимодействует с ним.

Это свойство данной формы вещества делает невозможным её прямое наблюдение.

Однако возможно обнаружить присутствие тёмной материи по создаваемым ею гравитационным эффектам.

Обнаружение тёмной материи поможет решить проблему скрытой массы, которая, в частности, заключается в аномально быстрой скорости вращения внешних областей галактик.

Тёмная энергия — феномен, проявляющийся в обнаруженном нарушении закона Хаббла: Вселенная расширяется с ускорением.

Самое простое объяснение заключается в том, что тёмная энергия — это просто «стоимость существования пространства»: то есть, любой объём пространства имеет некую фундаментальную, неотъемлемо присущую ему энергию.

Её ещё иногда называют энергией вакуума, поскольку она является энергетической плотностью чистого вакуума. Это и есть космологическая константа, иногда называемая «лямбда-член» (по имени греческой буквы Λ , используемой для её обозначения в уравнениях общей теории относительности). Введение космологической константы в стандартную космологическую модель, основанную на метрике Фридмана — Лемэтра — Робертсона — Уокера, привело к появлению современной модели космологии, известной как лямбда-CDM модель.

Альтернативный подход исходит из предположения, что тёмная энергия — это своего рода частицеподобные возбуждения некоего динамического скалярного поля, называемого **квинтэссенцией**.

Отличие от космологической константы в том, что плотность квинтэссенции может варьироваться в пространстве и времени. Чтобы квинтэссенция не могла «собираться» и формировать крупномасштабные структуры по примеру обычной материи (звёзды и т. п.), она должна быть очень легкой, то есть иметь большую комптоновскую длину волны.

Никаких свидетельств существования квинтэссенции пока не обнаружено, но исключить такое существование нельзя.

Гипотеза квинтэссенции предсказывает чуть более медленное ускорение Вселенной, в сравнении с гипотезой космологической константы.

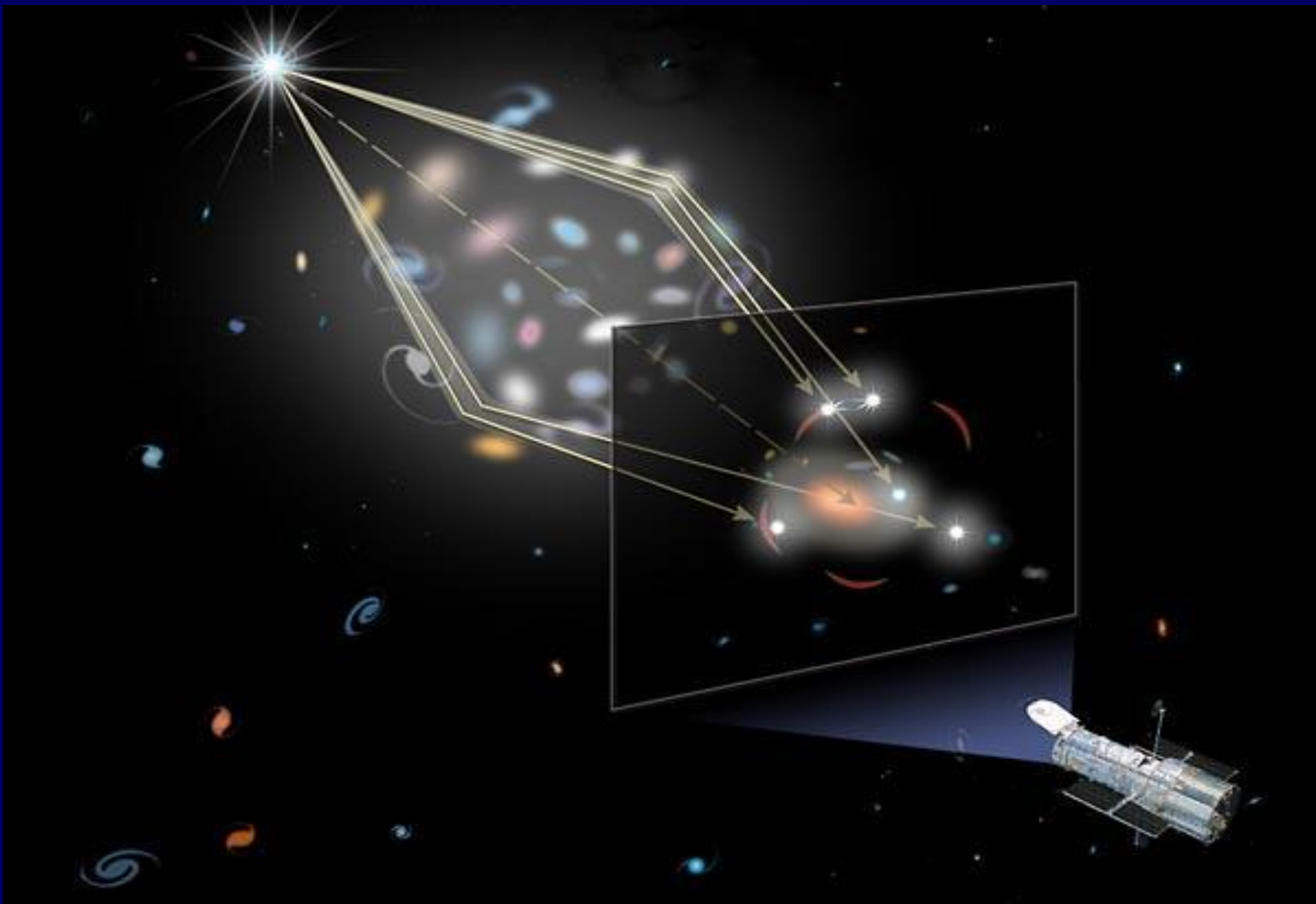
Существование скалярных полей предсказывается стандартной моделью и теорией струн, но при этом возникает проблема, аналогичная варианту с космологической константой: теория ренормализации предсказывает, что скалярные поля должны приобретать значительную массу.

В некоторых моделях поле квинтэссенции имеет плотность, которая подстраивается к плотности излучения (не достигая её) до того момента развития Большого Взрыва, когда складывается равновесие вещества и излучения.

После этого момента квинтэссенция начинает вести себя как искомая «тёмная энергия» и в конце концов господствует во Вселенной.

Такое развитие естественным образом устанавливает низкое значение уровня тёмной энергии.

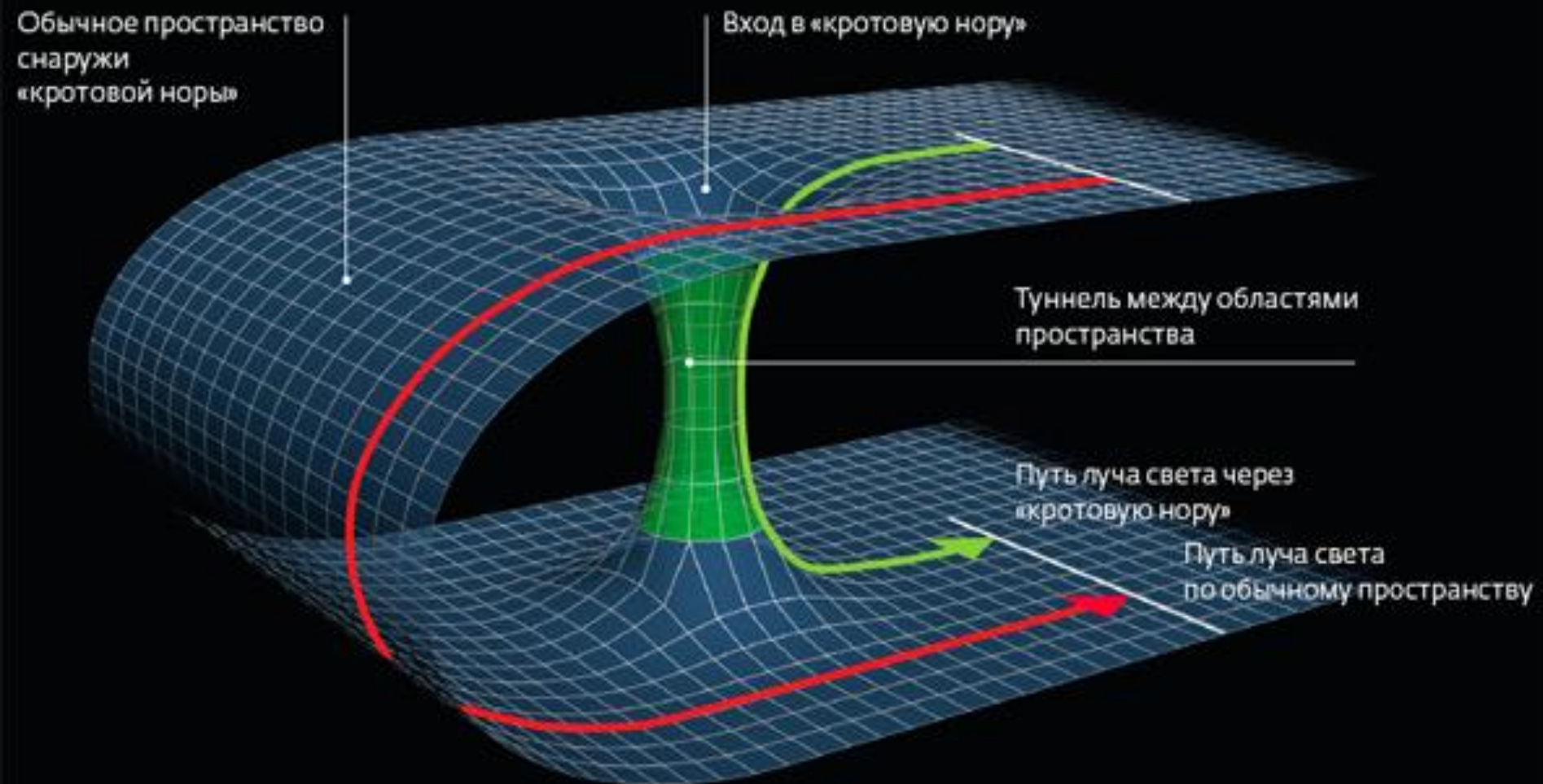
Как увидеть темную материю



Экзотика

(И. Д. Новиков, К. Торн)

Двумерная модель «кротовой норы»



Возможно, скоро будут найдены
принципиально новые подходы к
описанию того, что мы видим...

Возможно, что статья с этими новыми
идеями уже поступила в редакцию
какого-нибудь научного издания.

Подобно тому, как в 1905 году в редакцию
журнала "Annalen der Physik" поступила
статья молодого служащего патентного
бюро...

... звездное небо надо мной и
нравственный закон во мне..



Иммануил Кант

Zwei Dinge erfüllen das
Gemüt mit immer neuer und
zunehmender Bewunderung
und Ehrfurcht, je öfter und
anhaltender sich das
Nachdenken damit
beschäftigt: Der bestirnte
Himmel über mir,
und
das moralische
Gesetz in mir.