

Лекция 16.

**Вселенная и Астрономическая
картина мира к началу XXI века.
Итоги, уроки и перспективы.**

.

Новые трудности и новые успехи наблюдательной космологии XX в. В изучении структуры Вселенной.

1. Проблема однородности и структурности Вселенной попытка решить проблему с помощью «тяжелой артиллерии» Маунт Вилсон....

- 1. В атмосфере «обратной» логики: когда «за лесом не видно деревьев», или о вреде излишнего изобилия фактов...
- На первых порах результаты оказались диаметрально противоположными пионерским выводам В. Гершеля (1784 г.) о существовании крупномасштабной сложной структурности мира туманностей.– теперь уже галактик. Глобальные обзоры неба гершелевым методом "черпков" (предпринятые Хабблом в 20-30-е гг. с помощью крупнейшего 100" рефлектора Маунт Вилсоновской обсерватории, приносили "слишком" много информации - "утратив" достоинство (в этом случае!) гершелевых телескопов – доступность для них лишь ярких туманности (не слабее 14 зв. вел.). В итоге **картина структурности Вселенной утонула в общем поле слабых галактик.**

- **2. И вновь к «бритве Оккама». Успех после «отсекания шума».**
- На новом этапе изучения распределения галактик, в 30-е гг. XX в., наиболее существенный вклад в подготовку повторного независимого обнаружения того же "пояса" галактик сделал **Х. Шепли**. По ярким галактикам (с той же верхней граничной 14 звездной величиной, что и у Гершеля) он и его сотрудница **Аделаида Эймз** в 1932 г., а затем его ученик К. **Сейферт** обнаружили, что известное уже к тому времени скопление галактик в Деве продолжается, с одной стороны, в Центавре, а с другой - в Волосах Вероники и Гончих Псах. Позднее, в 1951 г. Шепли нашел дальнейшее продолжение этого пояса галактик в Большой Медведице. Таким образом, вновь восстанавливалась и подтверждалась наблюдениями картина, некогда подмеченная В. Гершелем.

§ 3. Открытие Сверхскоплений галактик.

- Наконец, в 1953 - 1956 гг. существование этого сверхскопления галактик более четко выявил французский астроном *Жерар де Вокулёр* (работавший в Австралии, затем - в США) на основании изучения каталога (1932г.) ярких галактик Шепли - Эймз и используя уже полученные ими данные о распределении таких галактик.
- Эта первая обнаруженная сверхсистема галактик в точности совпала с "пластом Волос Вероники" (открытым за 169 лет до этого В. Гершелем, что в дальнейшем было забыто. **Сам Вокулер принял ее сначала за плоскую и даже вращающуюся систему, следующую ступень в классической иерархической модели Вселенной по Канту и Ламберту, и ее некоторое время называли «Сверхгалактикой Вокулера».**
- (Кстати, Ж. де Вокулёр в 1980 г. был награжден медалью им. Вильяма Гершеля от Лондонского королевского астрономического общества, но вне связи с тем, что он стал продолжателем великого астронома в этом смысле. К сожалению, в англоязычной литературе об этом открытии В. Гершеля до сих пор мало кто знает. Сам де Вокулёр ссылается в своих публикациях только на Дж.Х. Рейнолдса.)

Неиерархическая структурность Вселенной (Метагалактики)

- К концу XX в. было выявлено множество новых сверхскоплений галактик. Тенденцию к скапливанию показали и радиогалактики. Таким образом, **идея крупномасштабной структурности Вселенной, выдвинутая впервые на основе наблюдений В. Гершелем в конце XVIII в., в наши дни перешла из ранга гипотез и элементов картины мира в ранг достоверных научных знаний.**
- Вместе с тем уже на уровне скоплений галактик **картина структурности Вселенной оказалась весьма далекой от классических представлений об иерархичности Вселенной Канта и Ламберта.** Скопления не имели правильной и уплощенной формы "сверхгалактик", не показывали признаков вращения. Экстраполяция на "всю Вселенную" структуры Солнечной системы оказалась неправомерной. Скопления галактик напоминали, скорее, "рой мошек".
- Вместе с тем наблюдения показывали, что они могут быть последним этапом формирования иерархической структуры в Космосе в том смысле, что, как и звезды в галактиках, **галактики в скоплениях также объединены гравитацией, а расстояния между членами скопления существенно превышают размеры самих членов скопления (т.е. галактик).**

Модель структуры Метагалактики по Цвикки: «мыльная пена» (30-е гг. XXв.)

- Наиболее крупным (по идее Ф. Цвикки) элементом структуры Метагалактики представляются сверхскопления галактик, включающие как отдельные галактики, так и их скопления.
- Их размеры оцениваются во многие десятки мегапарсеков. Они включают десятки тысяч членов, причем **расстояния между сверхскоплениями уже сравнимы с их размерами**. В этом последнем их главное отличие от типичных "классических" астрономических систем, где размеры членов всегда существенно меньше их взаимных расстояний.
- Это обстоятельство привело Цвикки в 30-е гг. к созданию оригинального образа **устройства Вселенной в виде "мыльной пены"**, где **сверхскопления, однако, занимали сами пузыри пены**. Но в его время идея не нашла отклика.

§ 4. Открытие ячеисто-филаментарной крупномасштабной структуры Метагалактики и ее объяснение в новой теории горячей Вселенной на основе новой теории гравитационной неустойчивости Зельдовича.

- На этом пути произошел знаменательный синтез двух направлений изучения Вселенной - космологии и космогонии. **Во второй половине XX в. космология становится наукой не только о строении, но и о развитии и даже о происхождении нашей Вселенной. Космология становится эволюционной наукой.**
- Новым этапом развития представлений о ранних стадиях эволюции Вселенной стала "теория горячей Вселенной" Гамова, развитая в 70 - 80-е гг. главным образом в работах Я.Б.Зельдовича и его московской школы космологов. Он дополнил теорию горячей Вселенной на основе дальнейшего развития и углубления теории гравитационной неустойчивости Джинса.
- Зельдович показал, что в ранней Вселенной, когда, вещество уже отделилось от излучения, в нем (веществе) должны были возникать флуктуации плотности и вступал в действие **механизм гравитационной неустойчивости**. Однако она, по Зельдовичу, имела не сферический (джинсовский) характер, первичное вещество стягивалось не к неким центрам, **а в направлении неких поверхностей**. В результате должно было происходить **расслоение вещества на сравнительно тонкие**, постепенно, с течением времени уплотняющиеся **искривленные и разнонаправленные "пласты"**, образно названные Зельдовичем **"космологическими блинами"**.

Формирование крупномасштабной структуры Вселенной (Метагалактики)

- **Новая картина Метагалактики формировалась как существенно эволюционная.** В рамках теории гравитационной неустойчивости Зельдовича было показано, что стягивание почти однородно распределенного вначале вещества к некоторым поверхностям, усиливаясь и распространяясь вдоль них, приводит к взаимному пересечению этих космологических "блинов" (вспомним картину пересекающихся пластов туманностей у Гершеля), формируя структуру в виде трехмерной ячеистой сети.
- Сверхскопления галактик занимают ее стенки, а в ребрах этой сети наблюдаются как вытянутые образования - «нити», или филаменты (filament – нить, англ.).
- Такая крупномасштабная структура в целом получила название **ячеисто-филаментарной.**

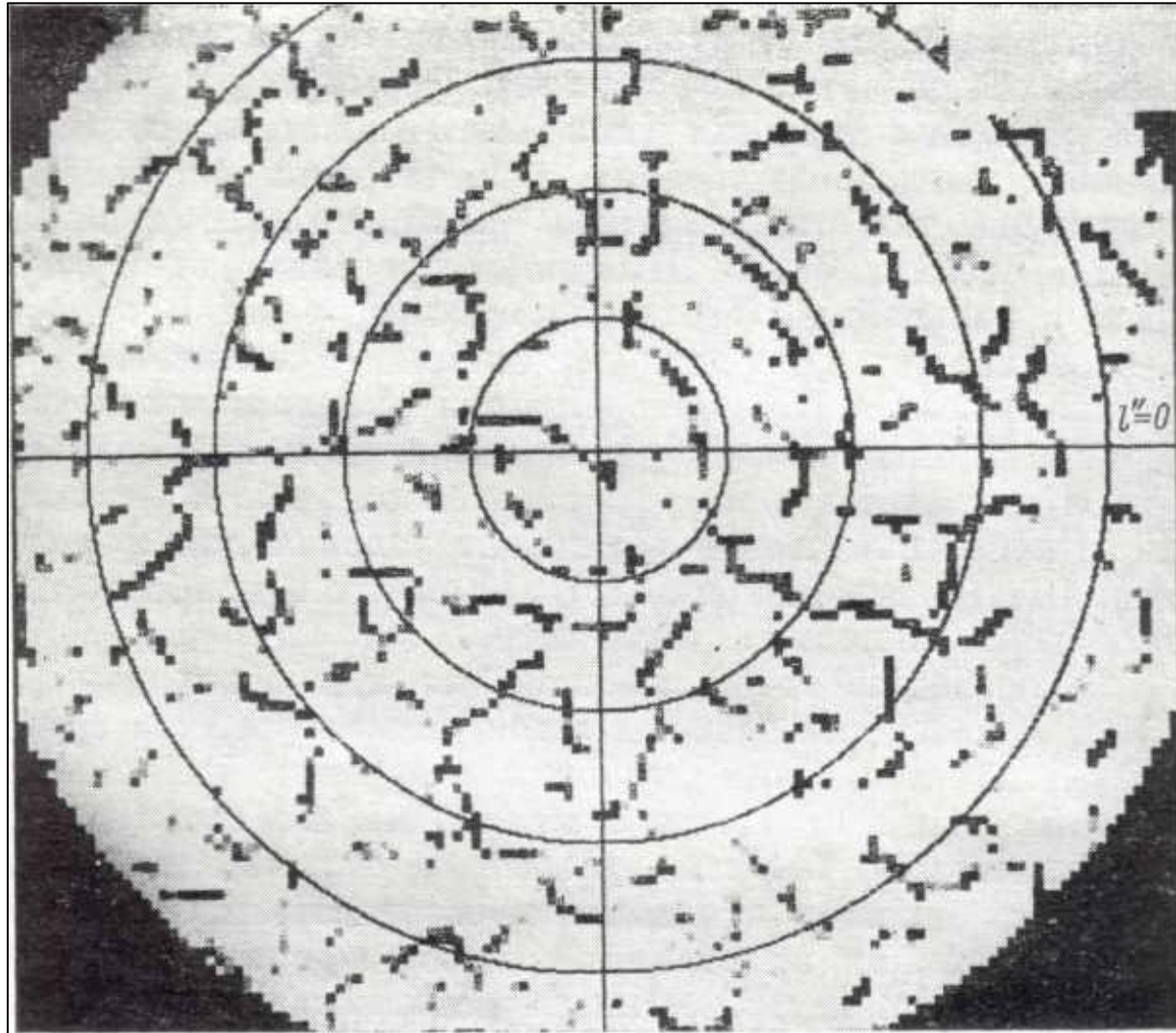
От гипотезы, через компьютерные расчеты к наблюдательному подтверждению ячеисто-филаментарной структуры Метагалактики

- К 80-м гг. XX в. сложилась современная картина крупномасштабной структуры Вселенной в виде ячеисто-филаментарной объемной сети, где идея "пены" Цвикки неожиданно получила воплощение, но "с точностью до наоборот". А именно, вещество в виде галактик и их скоплений заполняет в этой картине как раз тонкие "стенки" пены, тогда как "пузыри" представляют собой "пустоты".
- Они были действительно обнаружены Дж.Кинкарини и Г. Рудом (1975, США), которые открыли ступенчатость в росте красного смещения в спектрах галактик с их расстояниями; эти «пустые» промежутки в величине красного смещения вошли в космологию под буквальным англоязычным названием "войды" (т.е. "пустоты", пробелы).
- Наиболее заметными оказываются филаментарные сверхскопления.
- Формирование такой структуры было подтверждено на компьютерах при моделировании поведения системы хаотически распределенных гравитирующих точек (сначала в двумерной – в 1975г., а затем трехмерной модели – в США, Англии, Москве-1981).
- Но еще в 1978г. новое подтверждение такой структуры получила группа эстонских исследователей под руководством Я.Э. Эйнасто, в результате анализа большого наблюдательного материала из каталога галактик Эйбелла. А в 1980 г. ими же было открыто первое филаментарное сверхскопление галактик в созвездии Персея.

Современная картина крупномасштабной структуры Метагалактики

- Метагалактика, по современным данным, имеет структуру непрерывной объемной ячеистой сети. Вещество (галактики и их скопления) сосредоточено в стенках ячеек. Каждая «стенка» представляет собой колоссальное уплощенное клочковатое собрание галактик и их скоплений (это один тип сверхскоплений, возможно, его демонстрирует «пласт Волос Вероники»). На пересечении двух стенок ячейки, то есть в «ребрах» объемной структуры формируются сверхскопления второго типа – нитевидные (филаментарные) (как в Персее). Наконец, в местах пересечения трех стенок ячейки (в узлах сетки) образуются сверхскопления третьего типа, наиболее богатые (на это похожа концентрация галактик в Деве).
- Такова общая картина структуры Вселенной - Метагалактики по данным наблюдательной и теоретической космологии, сформировавшаяся к концу нашего 2-го тысячелетия.

Крупномасштабная филаментарно-ячеистая структура Метагалактики, полученная по каталогу галактик Эйбелла



Идеи дальнейшей эволюции крупномасштабной структуры Метагалактики

- Сверхскопления галактик уже не мыслились как нечто навеки застывшее. Их неправильная клочковатая структура и колоссальные размеры свидетельствуют о *неравновесном* состоянии этих систем (поскольку характерный срок достижения равновесия системы, иначе время пересечения системы телом, движущимся в ее гравитационном поле, сравним здесь с возрастом наблюдаемой Вселенной).
- В структуре сверхскоплений прослеживаются признаки предшествовавшего "коллапса". И здесь в описании картины снова перед нами обнаруживается переключка эволюционных идей разных эпох.

- В 1811 г. В. Гершель писал:
- *"... Если они [туманности] обязаны своим происхождением разрушению прежде существовавших обширных туманных образований, ... мы можем ожидать, что... эти разрозненные туманности должны находиться не только в большом изобилии, но и поблизости друг к другу или даже в непрерывном соединении друг с другом в зависимости от различной протяженности и расположения прежних диффузных образований из такой туманной материи".*
- В 1983 г. Я.Б. Зельдович, А.В. Мамаев и С.Ф. Шандарин делают вывод:
- *«Галактики в значительной мере объединены в скопления, и все вместе скопления галактик и изолированные галактики долго – до сегодняшнего дня – помнят об облаке, где родились...».*
-

О дальнейшей судьбе крупномасштабной структуры Метагалактики.

- В конце 80-х гг. теоретиками-космологами были высказаны некоторые предположения о возможной дальнейшей эволюции крупномасштабной структуры Вселенной (Метагалактики). В процессе этой эволюции – растягивания стенок ячеек вещество из них постепенно должно переходить в области их пересечений, в ребра, а в дальнейшем стягиваться к вершинам, или узлам ячеек. Сверхскопления в узлах будут расти и могут в дальнейшем сливаться друг с другом своими периферийными частями. В результате вновь может возникнуть некоторое непрерывное распределение галактик и их скоплений с уплотнениями в местах бывших узлов ячеек.
- Картина оказывается неожиданно близкой к идее Цвикки, высказанной в 30-е гг. XX в. – к его образу Вселенной, заполненной сверхскоплениями галактик, как мыльная пена пузырями воздуха.
- Дальнейшая эволюция структуры Метагалактики, очевидно, будет зависеть и от того, является ли наша Вселенная закрытой или открытой, то есть выше или ниже критической средней плотности материи в ней. По известным объектам она лишь близка к критической (10^{-30}).
- Неожиданные и неизвестные новые возможности возникают в связи с открытием в конце XX в. двух пока весьма загадочных форм материи: «темной массы» и «темной энергии»...
- **Перед нами очередное свидетельство того, что путь развития науки и картины мира – не имеет конца.**

Развитие классической релятивистской космологической картины мира.

- Открытие Хабблом расширения всей наблюдаемой Вселенной и подтверждение в дальнейшем этого закона во всех волновых диапазонах приема информации завершило начатую Фридманом революционную смену космологической картины мира – вторую, после коперниковой, научную революцию АКМ.
- В ней надолго утвердился релятивистский образ Вселенной как нестационарной *единой всеохватывающей* космической системы!
- Но сам характер нестационарности получил неожиданное развитие.

Рождение инфляционной космологии. От Э.Б. Глинера до А.Гута и А.Б.Линде.

- В 1965г. недавний выпускник Ленинградского университета **Эраст Борисович Глинер** (р. в 1923г., ныне в США) опубликовал космологическую статью, в которой впервые после А.А.Фридмана им была рассмотрена с математической точки зрения и на основании ОТО картина начального расширения Вселенной.
- Предположив первоначальное состояние материи Вселенной вакуумно-подобным, Глинер пришел к заключению, что **начало ее космологического расширения должно было произойти в стремительном «экспоненциально скоростном» режиме** (по закону $y = e^x$), оценив «масштаб длительности времени (the duration measure)» такого расширения как e^{70} .
- Идею Глинера оценили сначала лишь такие корифеи как А.Д.Сахаров и Я.Б.Зельдович.
- Но именно благодаря Глинеру **в космологию вошло понятие начальной инфляции, или раздувания релятивистской Вселенной.**
- Исследовавший его деятельность профессор ГАИШ А.Д.Чернин писал о нем: «Дальнейшие теоретические исследования Глинера (1970), Глинера и Домниковой (1970), Гуревича (1975), Старобинского (1978), Муханова и Чибисова (1981), Гута (1981), Линде (1982) дали старт новому теоретическому направлению, основанному на идеях Глинера, которое ныне известно как **инфляционная космология**» (А.Д. Чернин. Erast B. Gliner: The cosmology works).
-

Э.Б.Глинер в год 90-летия



Развитие инфляционной теории Вселенной.

- Новым стимулом для развития *инфляционной космологии* в последней четверти XX в. стала необходимость объяснить новую загадку, опирающуюся на данные тогдашних наблюдений – удивительную однородность и изотропность нашей Вселенной (проявляющуюся в наблюдении изотропности и однородности заполнившего ее реликтового радиоизлучения) при ее колоссальных измеренных масштабах ($13,8 \times 10^9$ св. лет).
- Основополагающей гипотезой *инфляционной космологии* стали первоначальные выводы Глинера. Развита на основании этих идей инфляционная теория у А.Гута (США) и А.Д.Линде (Россия, США) утверждала, что ранняя Вселенная, материя которой находилась в вакуумно-подобном и вместе с тем чудовищно плотном состоянии, занимая очень малый, близкий к нулевому объем, пережила катастрофически быстрое увеличение своего объема - инфляцию, раздувание. За время 10^{-43} с Вселенная достигла своих современных размеров в 13,8 млрд. св. лет, а средняя плотность материи в ней уменьшилась с близкой к максимально возможной, планковской (10^{33} г/см³) до современной (10^{-29} г/см³).
- Начальное вакуумно-подобное состояние описывается математическим и отчасти физическим образом нестабильного «скалярного поля». Под ним подразумевается нерасчлененное состояние физического вакуума без элементарных частиц (ср. авьякта!) и перепадов напряженности поля, хотя с любой, даже огромной плотностью потенциальной энергии.

- Как писал один из современных авторов инфляционной теории Андрей Линде: «В конце инфляции скалярное поле распадалось, вселенная становилась горячей, и ее последующая эволюция могла быть описана стандартной теорией Большого Взрыва. Т.о. инфляция была частью теории Большого Взрыва».

В атмосфере нового абсолютизма.

- Теория горячей Вселенной Гамова и дополнившая ее инфляционная теория Глинера – Гута – Линде и ряда других выдающихся физиков-космологов о начальном стремительном «раздувании» Вселенной наполнили картину нестационарной Вселенной физическим содержанием.
- В космологии надолго утвердился всеобъемлющий релятивистский образ Вселенной как нелинейно нестационарной, расширяющейся из некоего сингулярного состояния единой, всеобъемлющей системы, охватывающей все мыслимое пространство-время!
- В этом и заключался абсолютизм классической релятивистской картины мира (как это было с геоцентризмом древних, а затем и с гелиоцентризмом, по Копернику).

Начало третьей научной революции в астрономии – смена классической релятивистской космологической картины мира на картину фрактальной Вселенной.

**От Universe к Multiverse. -
От Единственной Вселенной
К Многоликой Вселенной**

Уроки истории и новые сомнения.

- Несмотря на укрепление картины нестационарной Вселенной история знаний настораживала и заставляла многих сомневаться в правомерности этой новой безграничной экстраполяции – распространения законов *наблюдаемой* нестационарной Вселенной на весь *мыслимый* материальный мир.
- Господствовавшее среди космологов-релятивистов вплоть до начала 80-х гг. XX в. представление о единственности и всеохватности наблюдаемой (сейчас или даже в будущем) расширяющейся Вселенной - Метагалактики невольно напоминало многократно "утверждавшиеся" подобные представления в прошлом: о единственности Земли со светилами вокруг нее, Солнечной системы, или нашей звездной системы – Галактики...

- Между тем сами Фридман и Хаббл вполне осознавали "частный", локальный характер и законов нестационарной Вселенной, и самой релятивистской картины мира. Среди отечественных ученых идею множества качественно различных вселенных отстаивал в 70-е гг. московский космолог Абрам Леонидович Зельманов (1913 – 1987). В его математической модели (*«вселенная Зельманова»*) Мир представлялся *совокупностью бесчисленного количества различных конечных и бесконечных решений уравнений будущей (!) «Единой физической теории», гипотетической тогда (и все еще теперь!) наследницы ОТО...*

Раскрытие нового смысла инфляционной теории Вселенной

- В последней четверти XX в. было, наконец, осознано и обосновано теоретически, что чуть не полвека господствовавшая релятивистская космологическая картина отражает свойства лишь *малой части* материального мира – свойства нашей Метагалактики. Это и был «сухой остаток» - реальное знание, оставшееся от общей классической релятивистской картины мира.
- Инфляционная теория Глинера - Гута - Линде , поначалу воспринятая как описывающая промежуточный этап эволюции горячей всеохватной Вселенной, постепенно развилась (как об этом пишет Линде) в самостоятельную и значительно более **общую теорию** эволюции всего мыслимого материального мира.
- По отношению к ней теория Большого Взрыва, или горячей Вселенной сама оказывается частным случаем – причем уже в новом смысле : описанием эволюции лишь малой материальной области в общей космологической картине мира. Таких областей-доменов, в пределах одной из которых мы живем, бесконечное множество...

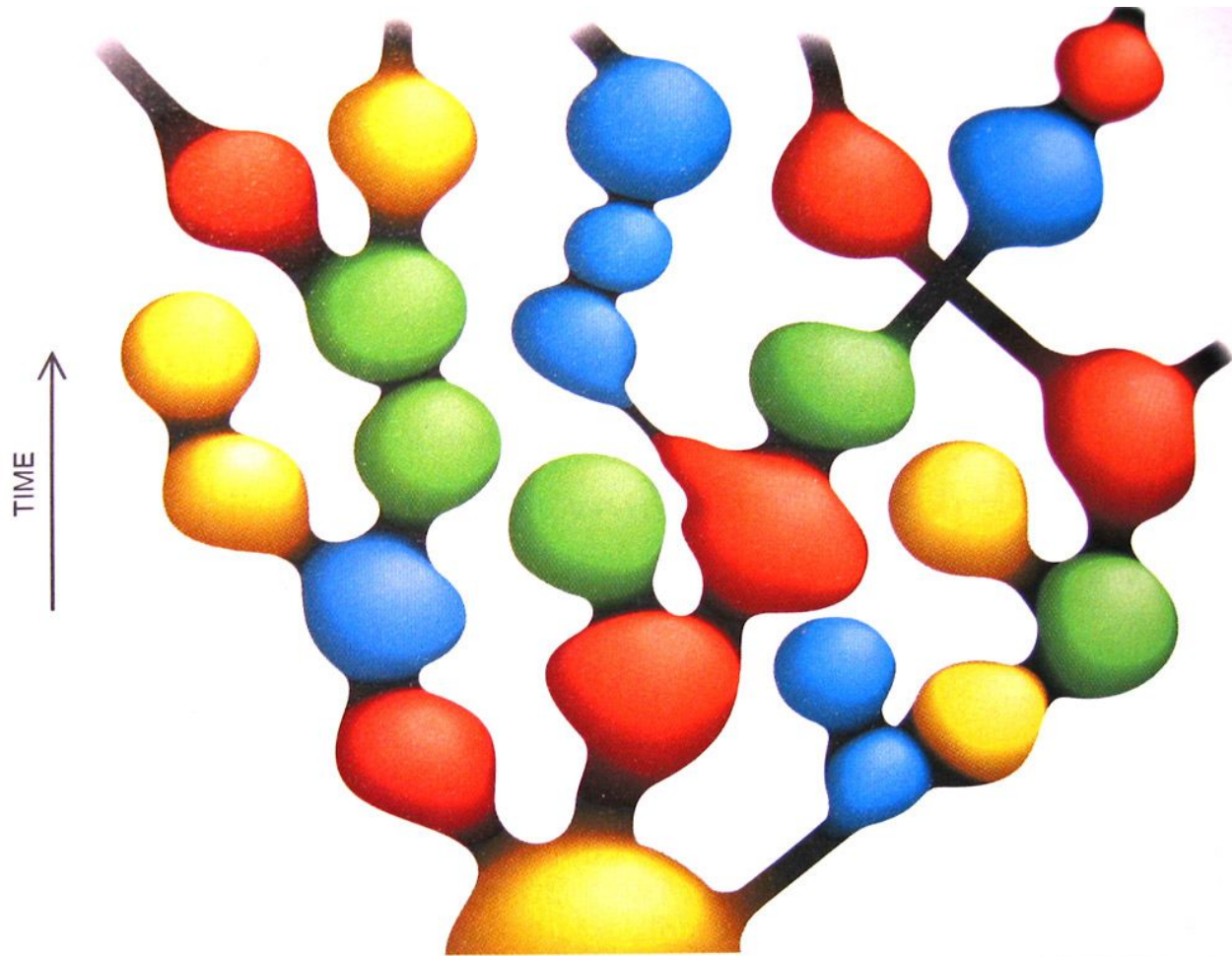
Новая инфляционная теория Вселенной совершает революцию астрономической картины мира – ее переворот вроде коперниковского.

- В новой инфляционной теории Вселенной, выдвинутой в 80-90-е гг. XX в. А. Гутом и А.Д. Линде, теория Большого Взрыва рассматривается как описание эволюции лишь одной материальной области, которая в числе других возникает как локальное возмущение в общем так называемом инфляционном скалярном поле.
- После внезапной стремительной инфляции нестабильного скалярного поля (таков устоявшийся современный образ «первоматерии»), которое становится т.о. инфляционным, в нем стохастически возникают локальные возмущения (флуктуации) плотности в виде локальных «пузырей» (доменов), которые порождают из себя новые, а те в свою очередь еще новые и так без конца (иногда это представляется как непрерывное «кипение вакуума»).

-

- Причем в каждом пузыре могут происходить своего рода «мутации» и резко изменяться, точнее формироваться свои физические законы, вплоть до размерности пространства или пространства-времени.
- В этой теории провозглашается новый принцип существования Вселенной – как «Самовоспроизводящейся Вселенной».
- В целом такая Вселенная оказывается не только количественно множественной (вспомним идею множественности обитаемых миров), но и качественно «многоликой» (в английском за ней закрепился термин Multiverse в противоположность термину для Вселенной – Universe). (Предложенный на лекции Линде в МГУ в 2007г. автором настоящего курса русский вариант - «Многоликая Вселенная», вместо употреблявшегося «Множественная Вселенная», лектор принял, назвав его в своей лекции «наиболее адекватным русским переводом» термина Multiverse.)
- Новая инфляционная теория Гута – Линде представляет Вселенную в целом как гигантский растущий фрактал.
- Процесс непрерывного ветвления такого космологического фрактала может не иметь и начала, то есть существование фрактальной «многоликой вселенной» может быть бесконечным.

**Модель
фрактальной
Вселенной , по А.
Д.Линде . Цветом
отражены
области с
различными
физическими
законами,
возникающими в
результате
мутаций**



SELF-REPRODUCING COSMOS appears as an extended branching of inflationary bubbles. Changes in color represent “mutations” in the laws of physics from parent universes. The properties of space in each bubble do not depend on the time when the bubble formed. In this sense, the universe as a whole may be stationary, even though the interior of each bubble is described by the big bang theory.

Заключение

- На этом заканчивается наш путь по истории астрономии – путь, по которому мы проследили развитие знаний о Космосе и эволюцию их безграничного в каждую эпоху обобщения, то есть астрономической картины мира.
- Но останавливаемся мы на следующем, уже обозначившемся рубеже – в начале **третьей научной революции в космологии, когда происходит смена тысячелетиями укреплявшейся картины Единой Всеобъемлющей Вселенной (Universe) на картину Многоликой Вселенной (Multiverse).**

Уроки общей истории развития астрономии и астрономической картины мира.

- На этом рубеже снова проявляется:
- мощь познавательной способности Человека;
- результаты его подлинного героизма («героического энтузиазма», говоря словами Бруно) на пути приобретения новых знаний и выдвижения и отстаивания новых идей;
- а вместе с тем и беспощадное указание на его (вместе со всей его Метагалактикой) ничтожно малое место в этом неисчерпаемом Мире, где будто бы спящая первоматерия вдруг (а может и непрерывно...) взрывается, самоорганизуясь в многочисленные новые и новые пузыри-домены, включающие новые миры с неизвестными новыми очагами Жизни и, хочется надеяться, Разума.

- Инфляционная космологическая картина Multiverse находится в стадии становления. У нее нет пока контрольных предсказаний для наблюдательной проверки. Но в ее появлении подтверждаются еще раз главные законы развития знаний и методологии их приобретения:
- 1. неизбежность отказа от иллюзии всеохватности имевшихся теорий и незыблемости картины мира;
- 2. растущее понимание необходимости комплексного подхода к решению любых проблем и в астрономии, необходимость для изучения Вселенной синтеза наук, после веков постепенной дифференциации естествознания; мы уже свидетели возникновения кроме астро-физики (= астро-химии), космо-химии, астро-биологии, астро-геологии (планетологии) и даже космо-микро-физики! Так что путь естествознания – то не путь споров о праве первородства, а путь к Великому Синтезу.
- 3. понимание неизбежности с развитием знаний смены их безграничных обобщений, т.е. научных картин мира, иначе говоря неизбежности научных революций как фундаментальной закономерности развития наук.
- И наконец,
- 4. постепенное освобождение науки, естествознания от небезопасного гнета политизированной идеологии и от наиболее устойчивого атавизма - результата творчества раннего человеческого разума – религиозного мировоззрения, которое и в наши дни все еще используется порой в качестве духовного оружия в политических целях государства.

Под занавес

- Космологическая поэма