

Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

# Происхождение Вселенной

*элективный курс*

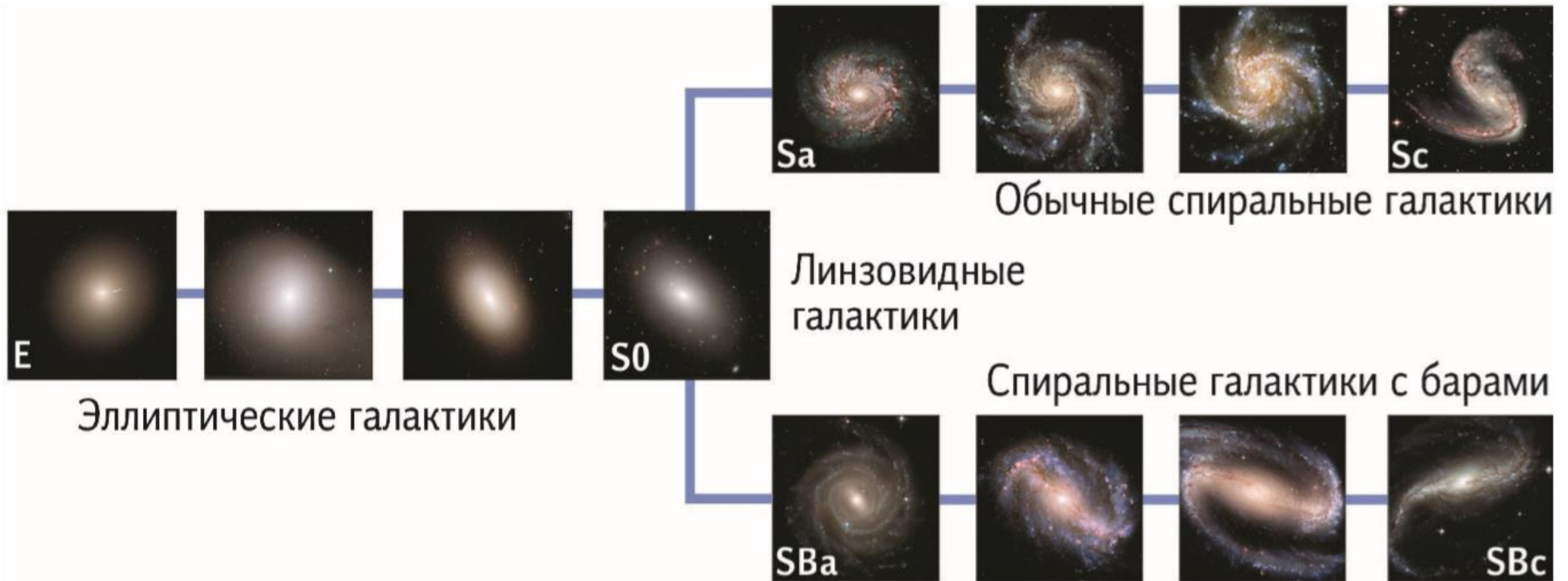
Лекция 10

Москва

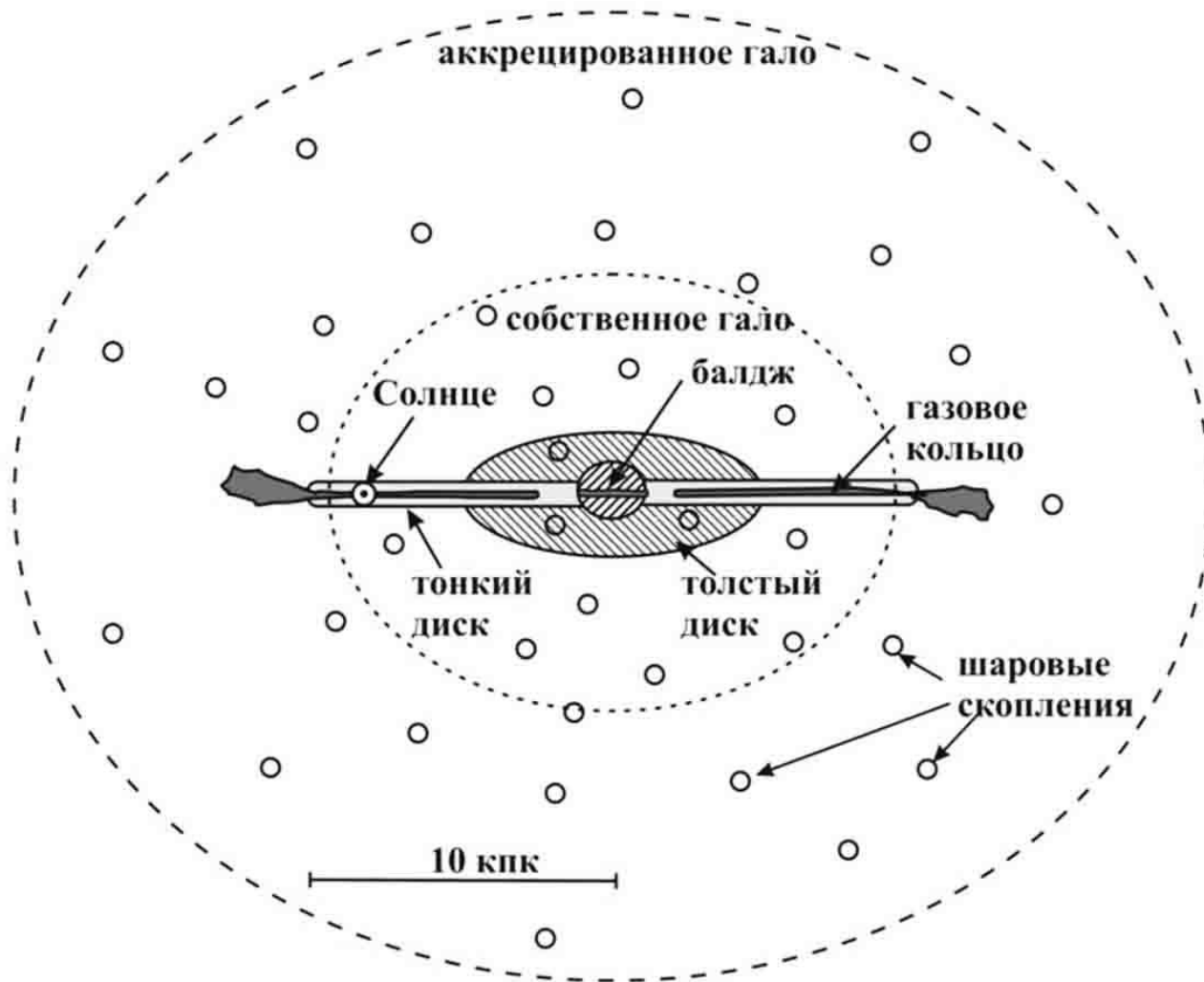
# Галактики и звёзды

- 1) Происхождение и эволюция галактик
  - Введение
  - Теории формирования
  - Динамические механизмы эволюции
  - Спектрофотометрические механизмы эволюции
  - Химические механизмы эволюции
  - Ядра галактик
  - Галактики на больших красных смещениях
  - Эмпирические сценарии эволюции
  
- 2) Происхождение и эволюция звёзд
  - Зарождение звёзд
  - Эволюция звёзд разной массы
  - Финальные этапы эволюции звезды
  - Новые, сверхновые, килоновые
  - Синтез элементов в природе

# Введение. «Камертон» Хаббла.



# Введение. Структура дисковых галактик.



Отличия дисковых и эллиптических галактик:

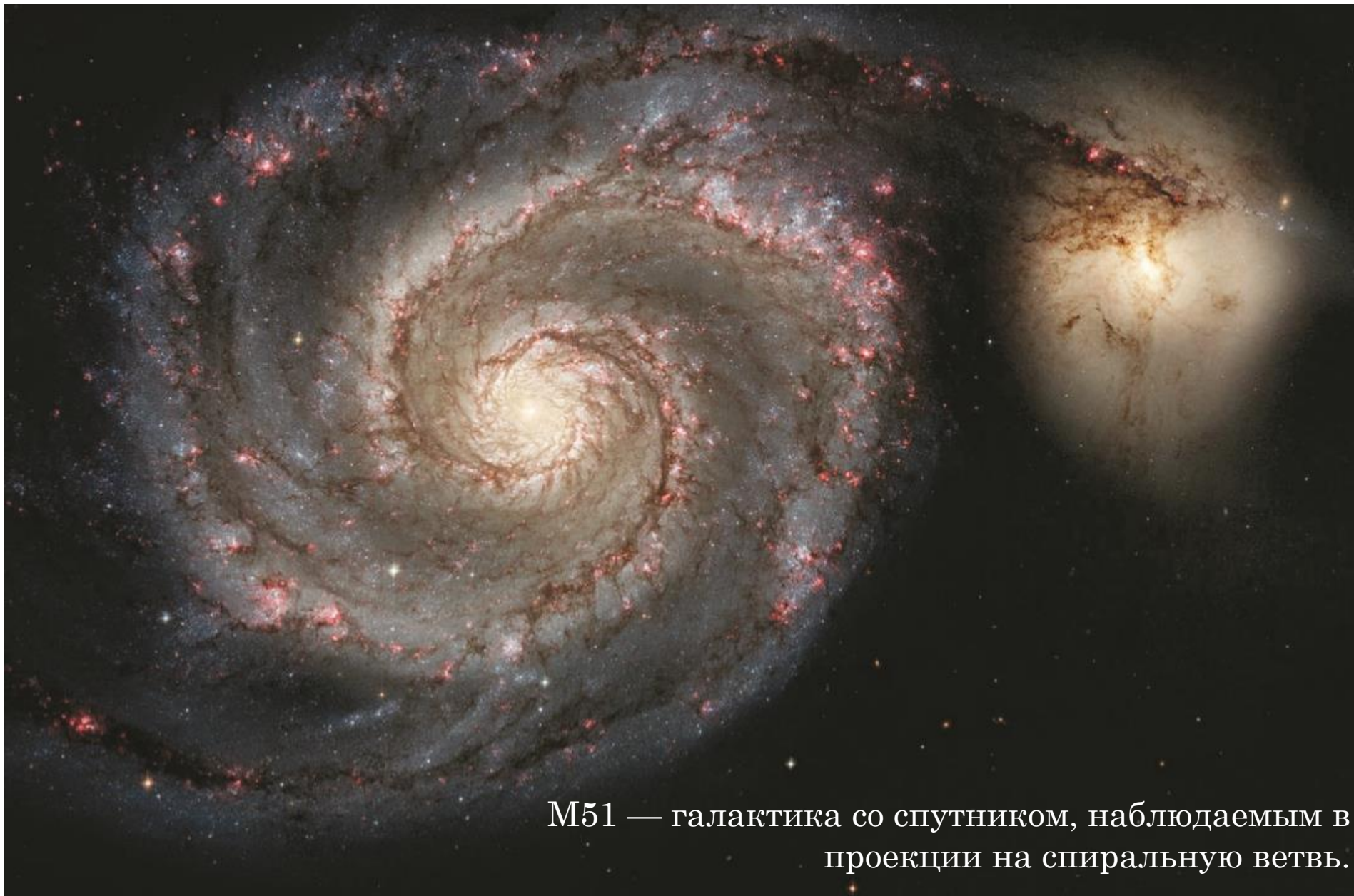
- масса;
- момент импульса;
- ...

# Введение. Варианты образования звёзд.

В середине XX века существовали две конкурирующие концепции:

- космогония Дж. Джинса – «конденсация»;
- космогония В.А. Амбарцумяна – «разлёт»;
- космогония Б.А. Воронцова-Вельяминова – «слияние»;

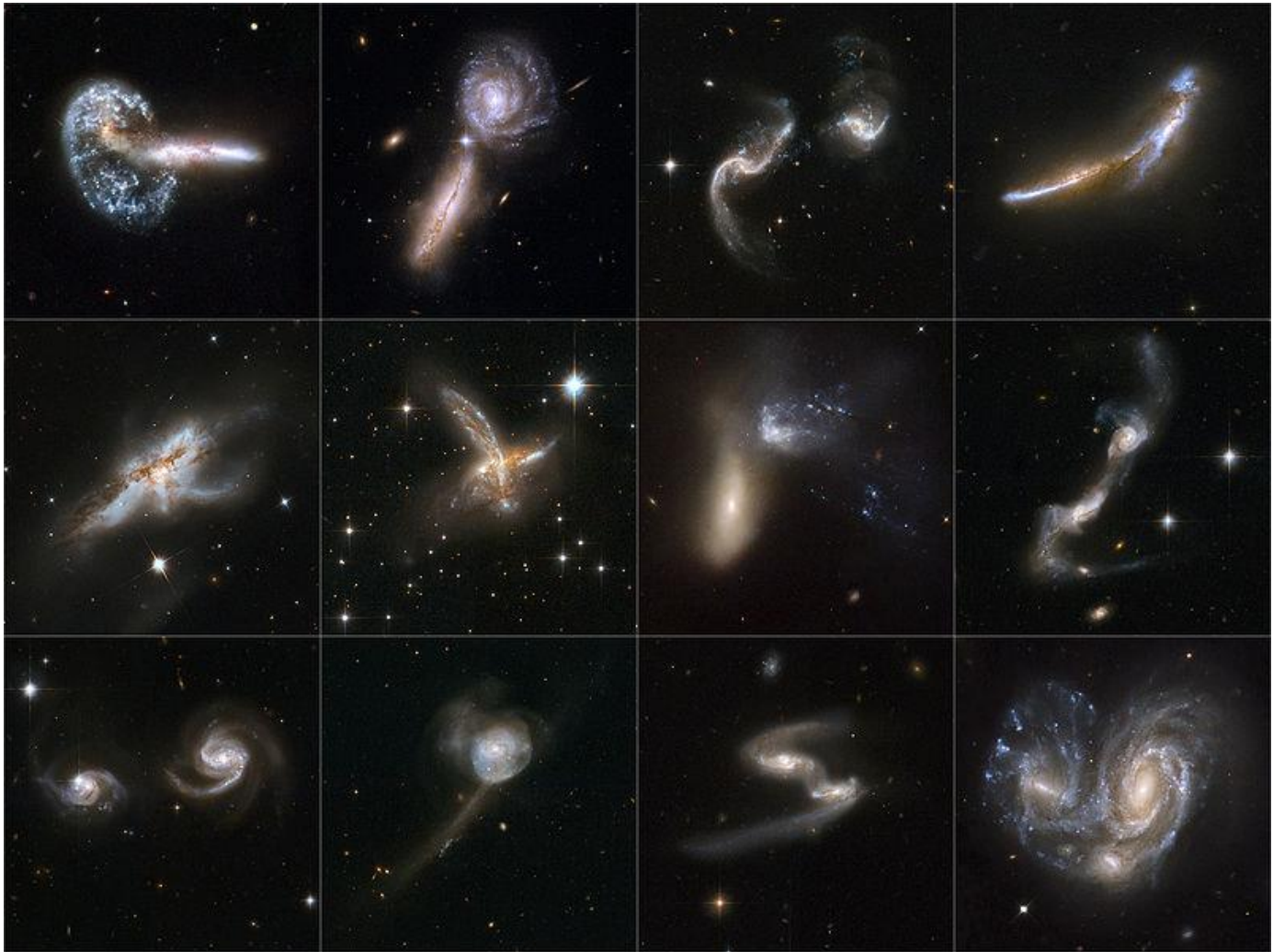
## Введение. Сливающиеся галактики.



М51 — галактика со спутником, наблюдаемым в проекции на спиральную ветвь.

# Введение. Сливающиеся галактики.

- В среднем около 7% всех крупных галактик можно отнести к взаимодействующим, и это довольно много, если учесть, что тесное взаимодействие за сравнительно короткое время должно приводить либо к разрушению, либо к слиянию галактик.



## Введение. Сливающиеся галактики.

Сливающиеся галактики «Антенны».  
Фото: космический телескоп «Хаббл».



В приливных хвостах взаимодействующей пары галактик NGC 4038/NGC 4039 («Антенны») были обнаружены молодые звездные суперкомплексы массой до миллиарда масс Солнца.



# Введение. Основы теории эволюции Галактик.

До сих пор практически независимо рассматривается три класса физических механизмов, формирующих и изменяющих структуру и наблюдаемые характеристики галактик — их размер, блеск, цвет, внутренние движения:

- динамическая эволюция;
- спектрофотометрическая эволюция;
- химическая эволюция галактик.

# Введение. Динамическая эволюция.

Долгое время считалось, что динамическая часть эволюции галактик относится к 1-ому миллиарду лет существования, поскольку галактики сегодня – устойчивые сформированные системы, в которых, по-видимому, выполняется теорема о вириале.

Однако последние годы представление стало меняться.

Вековая эволюция может менять:

- толщину диска из-за разогрева звёзд;
- наличие или отсутствие бара;
- соотношение размеров балджа и диска;
- ...

# Введение. Спектрофотометрическая эволюция.

Эволюция светимости, цвета и спектра – определяется суммарным эффектом эволюции звёзд.

Вопрос: звёзды в галактиках

- имеют один возраст и химический состав?
- относятся к разным звёздным поколениям?

Пока более успешными, в плане сравнения с наблюдениями, являются модели звездных населений галактик с единым химическим составом для всех звезд — химическим составом, вероятно, соответствующим среднему, взвешенному по светимости звезд, обилию элементов в звездах галактики.

# Введение. Уровень наблюдательных данных.

## Фотометрическая эволюция

ID	RA( <sup>0</sup> )	DEC( <sup>0</sup> )	T <sub>eff</sub> (K)	log(g)	v <sub>t</sub> (km/s)	U	B	V	I <sub>c</sub>	J	H	K
32968	245.89176500	-26.51884367	4630	2.17	1.30	15.06	14.21	12.96	11.32	10.07	9.41	9.15
32988	245.90955560	-26.51865553	4850	2.63	1.22	15.43	14.88	13.75	12.22	11.08	10.40	10.22
33069	245.94851290	-26.51783666	4940	3.05	1.36	15.45	14.71	13.53	11.99	10.86	10.19	10.02
33195	245.86426280	-26.51654913	4620	2.38	1.26	15.30	14.39	13.12	11.45	10.23	9.50	9.36
33414	245.84207930	-26.51444711	4840	2.51	1.28	15.51	14.84	13.67	12.08	10.90	10.21	10.09
33617	245.86252960	-26.51233938	4720	2.35	1.26	15.38	14.57	13.36	11.76	10.59	9.86	9.68
33629	245.83816250	-26.51221901	4930	2.80	1.33	15.77	15.06	13.90	12.34	11.17	10.48	10.36
33683	245.89914420	-26.51176320	4800	2.57	1.18	15.29	14.66	13.48	11.91	10.78	10.09	9.89
33788	245.91070220	-26.51060047	4700	2.37	1.33	15.15	14.24	12.99	11.38	10.16	9.44	9.27
33900	245.84591550	-26.50933155	4770	2.48	1.27	15.48	14.69	13.51	11.93	10.67	10.03	9.92

# Введение. Спектрофотометрическая эволюция.

Пассивно эволюционирующая система звезд с возрастом тускнеет и краснеет, поскольку наиболее массивные, яркие голубые звезды заканчивают свой жизненный путь раньше, чем менее массивные.

К возрасту около 10 млрд лет такая звездная система уже состоит только из звезд, менее массивных, чем Солнце, и ее спектрофотометрическая эволюция сильно замедляется.

Поэтому эллиптические галактики на красных смещениях  $z = 0$  и  $z = 0,5$  выглядят совершенно одинаковыми, хотя более далекие из них — на  $z = 0,5$  — в среднем на 3–5 млрд лет моложе.

Если в галактике в середине или на любом другом промежуточном этапе ее жизненного пути образовывались новые молодые звезды, то она в этот момент «омолаживалась», т. е. ярчала и голубела, и дальше эволюция должна была пойти уже немного по-другому, в частности — в более быстром темпе.

# Введение. Спектрофотометрическая эволюция.

В зависимости от типа галактик, звездообразование в них идёт по-разному.

- В эллиптических галактиках все должно было закончиться менее, чем за 1 млрд лет.
- В Sc-галактиках звездообразование тлеет примерно на постоянном уровне все время ее жизни.
- В неправильных и карликовых галактиках вообще предполагается «вспышечный», т. е. сильно неравномерный ход глобального звездообразования.

# Введение. Химическая эволюция.

Химический состав галактик определяется:

- первичными компонентами.
- компонентами, синтезированными в звёздах
  - протон-протонные цепочки
  - CNO-цикл
  - горение гелия
  - горение углерода
  - s- и r-процессы

Теория звёздного нуклеосинтеза в настоящее время считается хорошо проработанной.

# Введение. Уровень наблюдательных данных.

## Химическая эволюция

ID	[FeI/H]	[OI/Fe]	[NaI/Fe] <sub>NLTE</sub>	[MgI/Fe] <sub>NLTE</sub>	[AlI/Fe]	[SiI/Fe]	[CaI/Fe]	[TiI/Fe]	[TiII/Fe]	[CrI/Fe]	[NiI/Fe]	[BaII/Fe]
32988	-1.09	0.51	0.02	0.44	—	0.50	0.29	0.29	0.33	-0.03	-0.01	—
33069	-0.92	0.39	0.23	0.37	0.59	0.43	0.20	0.34	0.42	-0.06	0.03	0.42
33195	-1.03	0.48	0.09	0.60	0.66	0.56	0.27	0.32	0.34	-0.02	0.04	—
33414	-1.05	0.52	0.21	0.49	0.30	0.48	0.32	0.25	0.26	-0.05	0.00	0.36
33617	-1.09	0.29	0.37	0.54	0.58	0.51	0.32	0.26	0.31	-0.05	0.02	0.51
33629	-0.98	—	0.31	0.39	0.68	0.55	0.28	0.33	0.37	-0.02	0.05	0.34
33683	-1.05	0.42	0.00	0.51	0.51	0.42	0.27	0.27	0.39	0.03	-0.03	0.56
33788	-1.02	0.30	0.37	0.47	0.50	0.43	0.28	0.28	0.33	-0.02	0.00	0.48
33900	-1.06	0.30	0.47	0.49	0.55	0.46	0.32	0.30	0.39	-0.05	0.01	0.42



# Введение. Химическая эволюция.

Несмотря на то, что звёздная эволюция считается детально проработанной, остаётся множество вопросов.

В нашей Галактике пока не найдено ни одной звезды с нулевой металличностью.  
Где же маломассивные долгоживущие первичные звезды с нулевой металличностью?

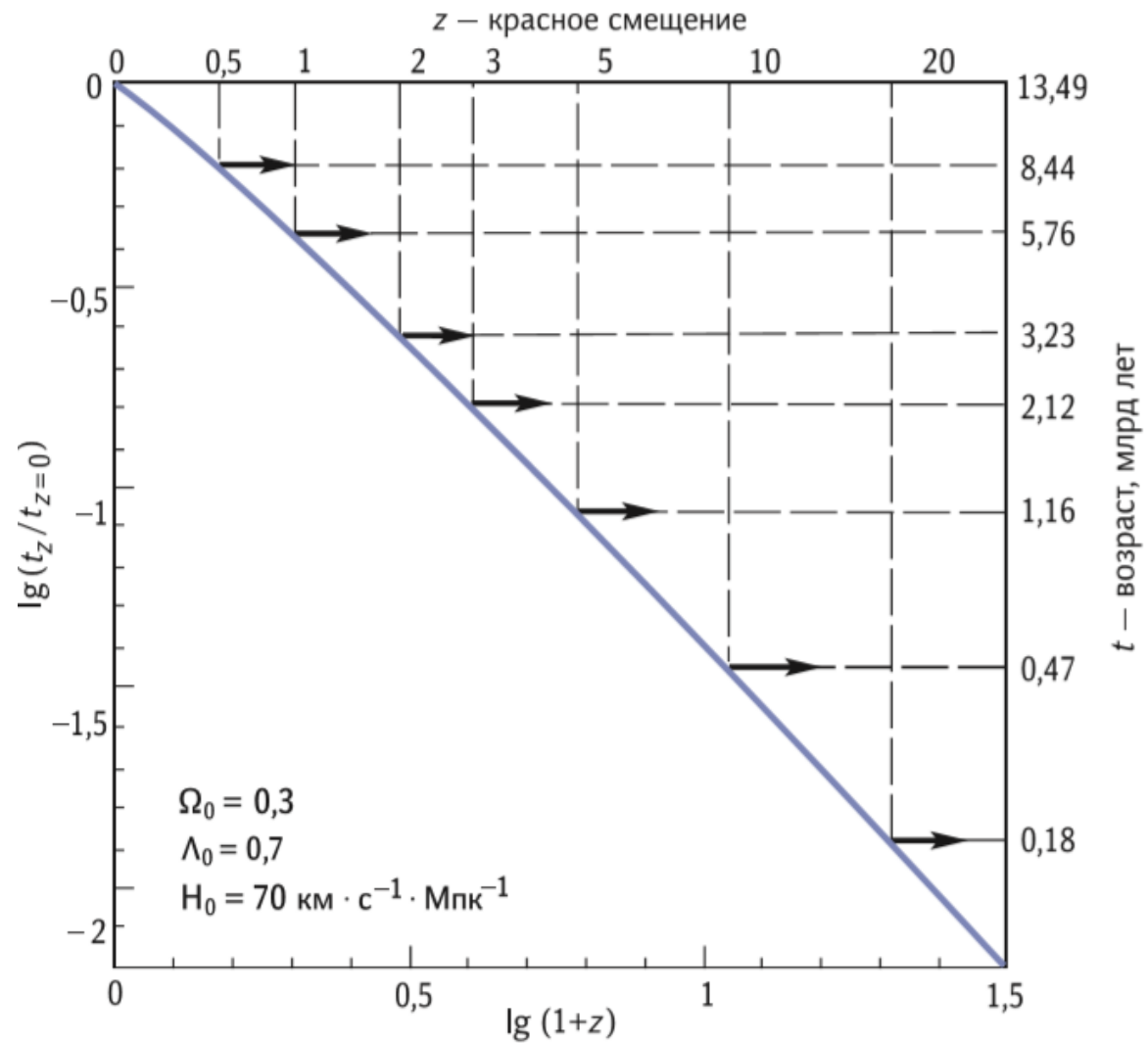
Возраст Солнца — около 4.5 млрд лет, но современная металличность межзвездной среды очень близка к солнечной.

Чем объяснить практически нулевой темп обогащения металлами межзвездной среды галактического диска?

## Введение. Два способа изучать эволюцию.

- 1) Подробное изучение строения и характеристик близких галактик и построение физических моделей эволюции, которые на финальной стадии, к моменту нулевого красного смещения, дают именно такие объекты, какие мы видим рядом с собой, полностью похожие по динамике, структуре и характеристикам звездного населения.
- 2) Учитывая колоссальную проникающую силу современных больших телескопов, можно заглядывать напрямую на большие красные смещения — там мы видим галактики, какими они были несколько миллиардов лет назад.

# Введение. Два способа изучать эволюцию.

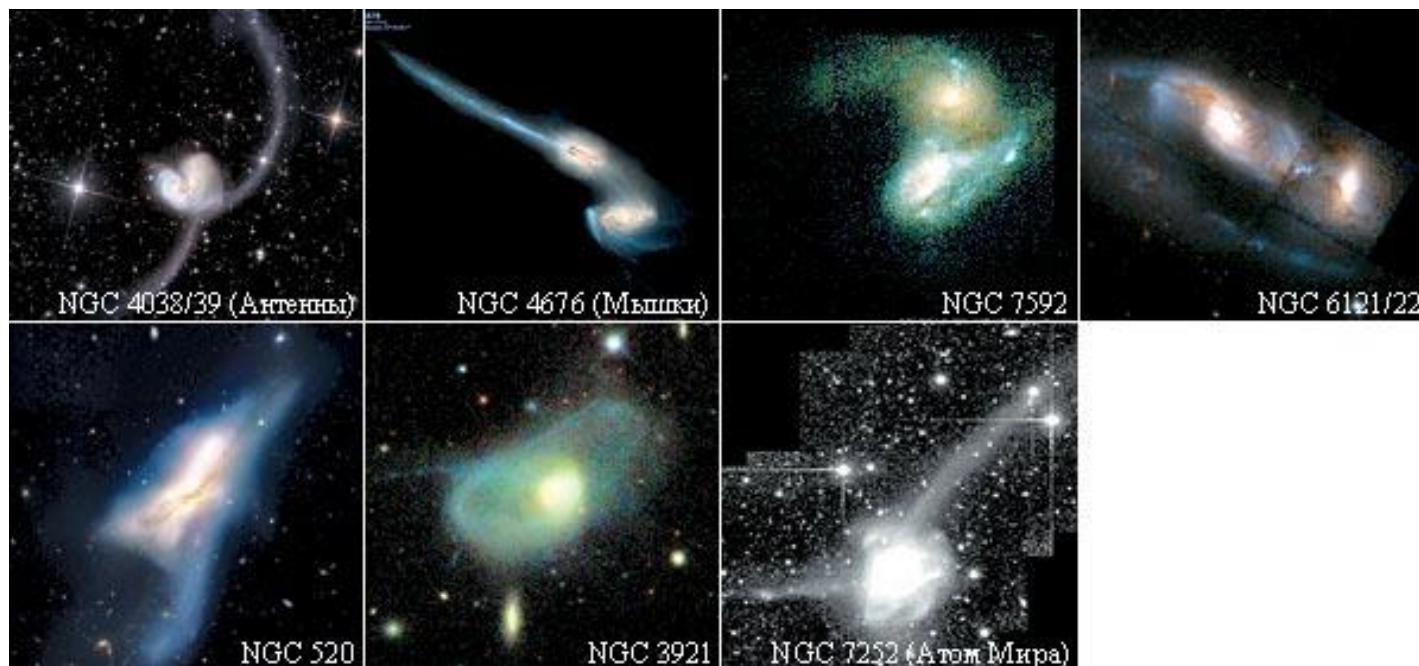


# Введение. Два способа изучать эволюцию.

У каждого из способов есть преимущества и недостатки ...

## Введение. Два способа изучать эволюцию.

В 1970-е Алар Тумре (MIT) сделал подборку из 11 сливающихся галактик, которые, он выстроил в виде последовательности, позволяющей воспроизвести различные стадии взаимодействия — от первого близкого пролета с раскрытием и образованием звёздных мостов до последующего слияния в единый объект с особенностями.



## Введение. Два способа изучать эволюцию.

- В первых численных моделях движение пробных частиц, распределенных на круговых орбитах вокруг массивной точки, возмущалось пролетающей мимо другой массивной точкой.
- В 1972 году братья Алар и Юри Тумре изучили, как зависит образование приливных структур от параметров столкновения галактик.
- Несколько полученных результатов:
  - Звёздные мосты, соединяющие галактики, хорошо воспроизводятся при взаимодействии галактики с маломассивной галактикой, а хвосты — при столкновении дисковой системы с галактикой сравнимой массы.
  - При пролете возмущающего тела мимо диска спиральной галактики в одном направлении с его вращением, относительная скорость движения оказывалась небольшой, и возмущения спиральной галактики практически не происходило.
- Братья Тумре построили модели ряда известных взаимодействующих систем, в том числе Мышек, Антенн и Водоворота, и сформулировали гипотезу о том, что итогом столкновения галактик может быть полное слияние их звездных систем.