

V 1980

3

3

2

Ту-19-241-77

0

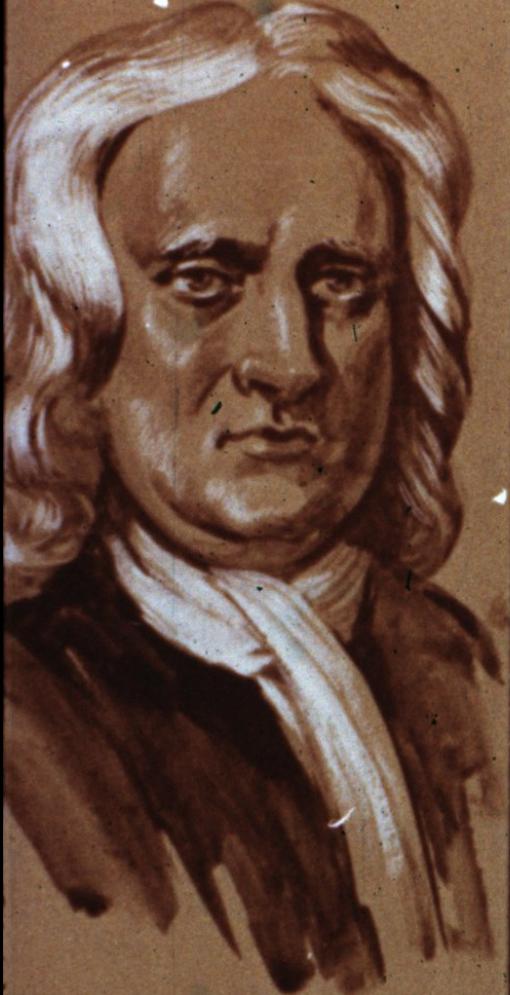
2

**ДИАСТУДИЯ**  
**ФИЛЬМ**

07-3-143

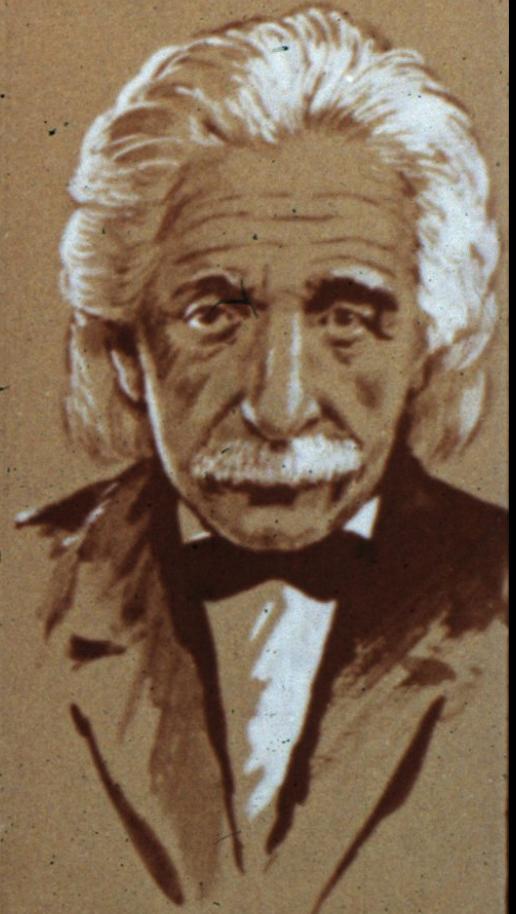
# ЧТО ТАКОЕ КОСМОЛОГИЯ



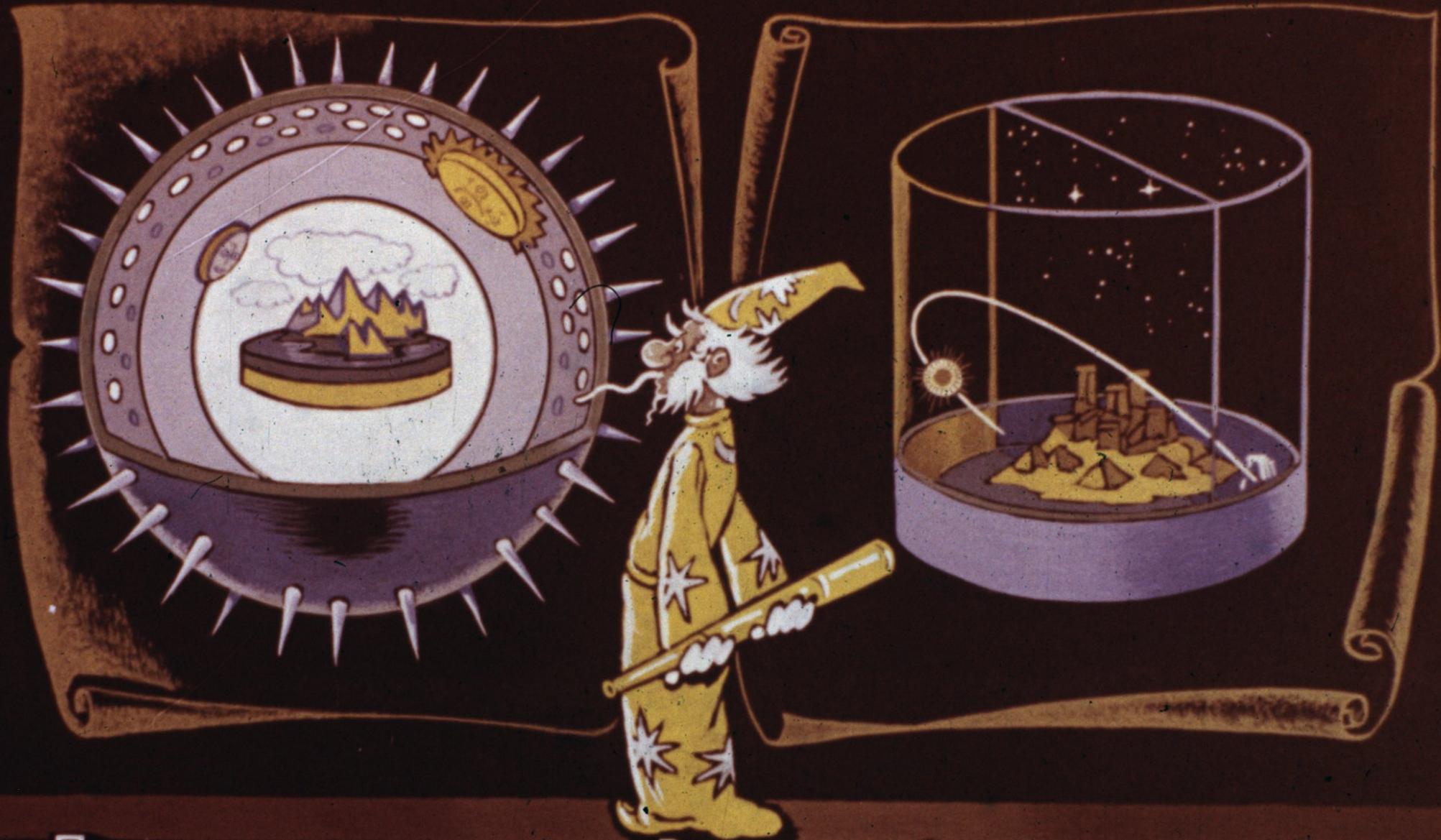


## К сведению учителя

Космология — это учение о Вселенной как целом. Она включает в себя и теорию Метагалактики, т.е. той части Вселенной, которая охвачена астрономическими наблюдениями. Находясь на стыке астрономии, физики, математики и философии, космология представляет собой очень сложный и абстрактный раздел науки. Поэтому в диафильме дается лишь самое элементарное представление о «моделях Вселенной». Особо обращается внимание на то, как по мере развития науки выяснилось, что Вселенная сложнее, чем это предсказывал «здравый смысл».



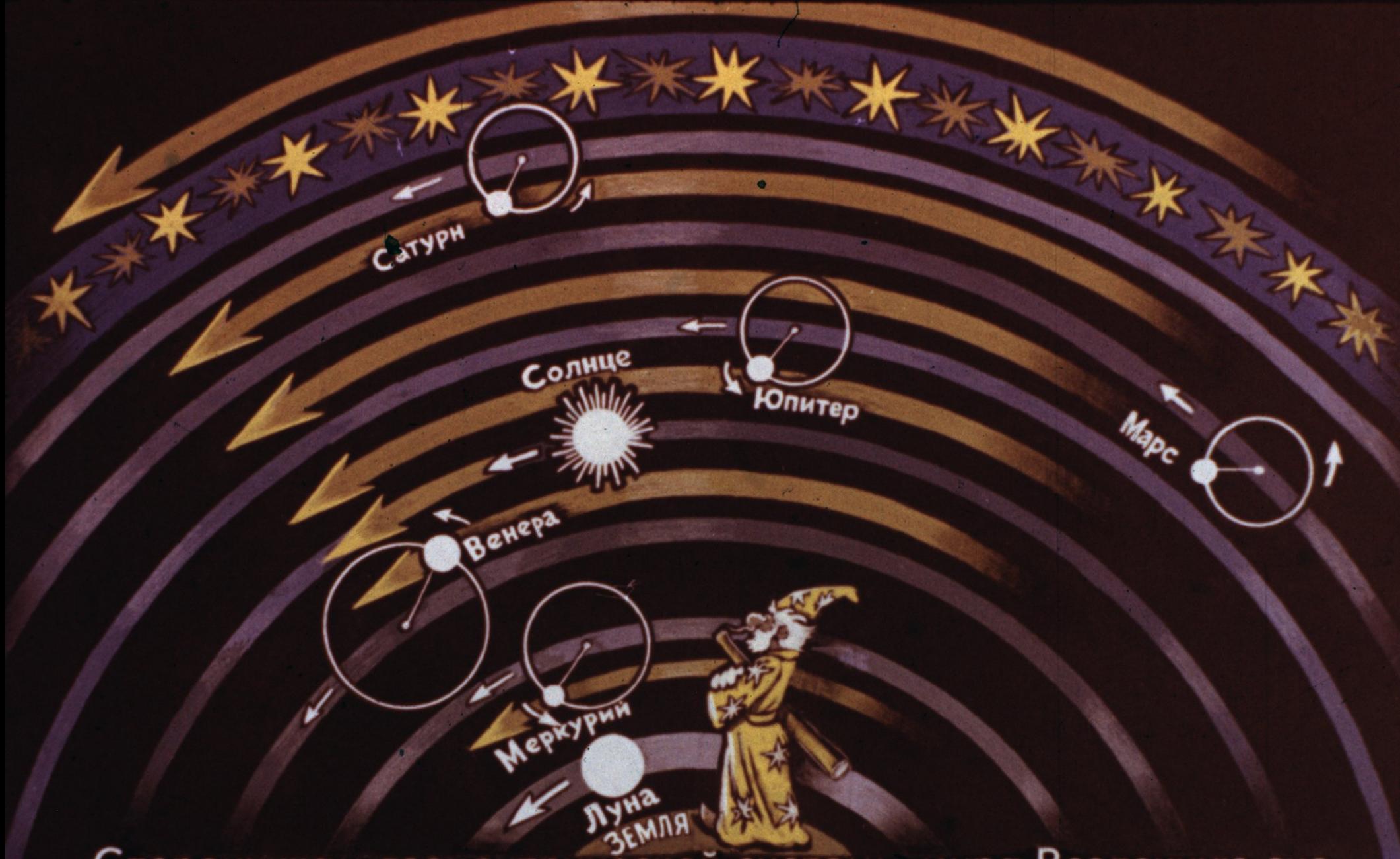
# I. ОТ МИФОВ ДО КОСМОЛОГИИ НЬЮТОНА



Первые представления о Вселенной были очень наивными. Они основывались лишь на «здравом смысле» и «наглядности». Вселенная казалась людям очень небольшой и ограниченной в пространстве.



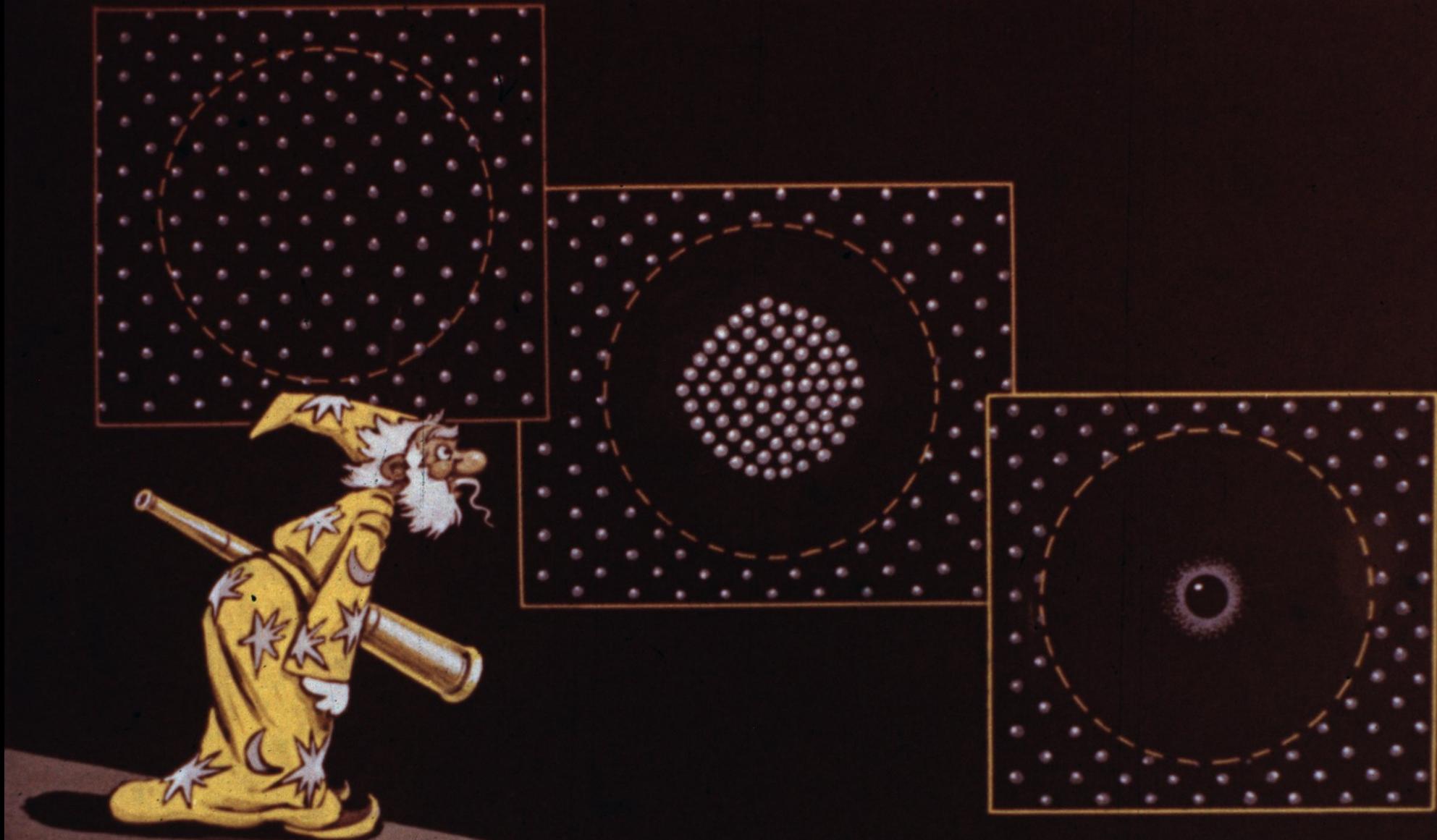
Но уже древним грекам стало «очевидно», что у Вселенной нет границ: ведь сколько бы воин ни бросал копье, он всегда может подойти к точке, куда оно упало, а затем метнуть его ещё дальше...



Сторонникам геоцентрической системы мира Вселенную снова пришлось считать конечной: иначе получалось, что далёкие звёзды движутся с бесконечно большими скоростями.  
*(Почему?)*



18 февраля 1600 года в Риме на площади Цветов был сожжен Джордано Бруно. Частью учения этого итальянского философа, страстного борца за гелиоцентрическую систему Коперника, была идея о бесконечности Вселенной и о бесконечном множестве обитаемых миров.



Идею бесконечности Вселенной в пространстве с точки зрения физики обосновал Ньютон, утверждавший, что любая конечная система частиц или тел, вначале покоящихся относительно друг друга, должна под действием взаимного притяжения собраться к одному центру.

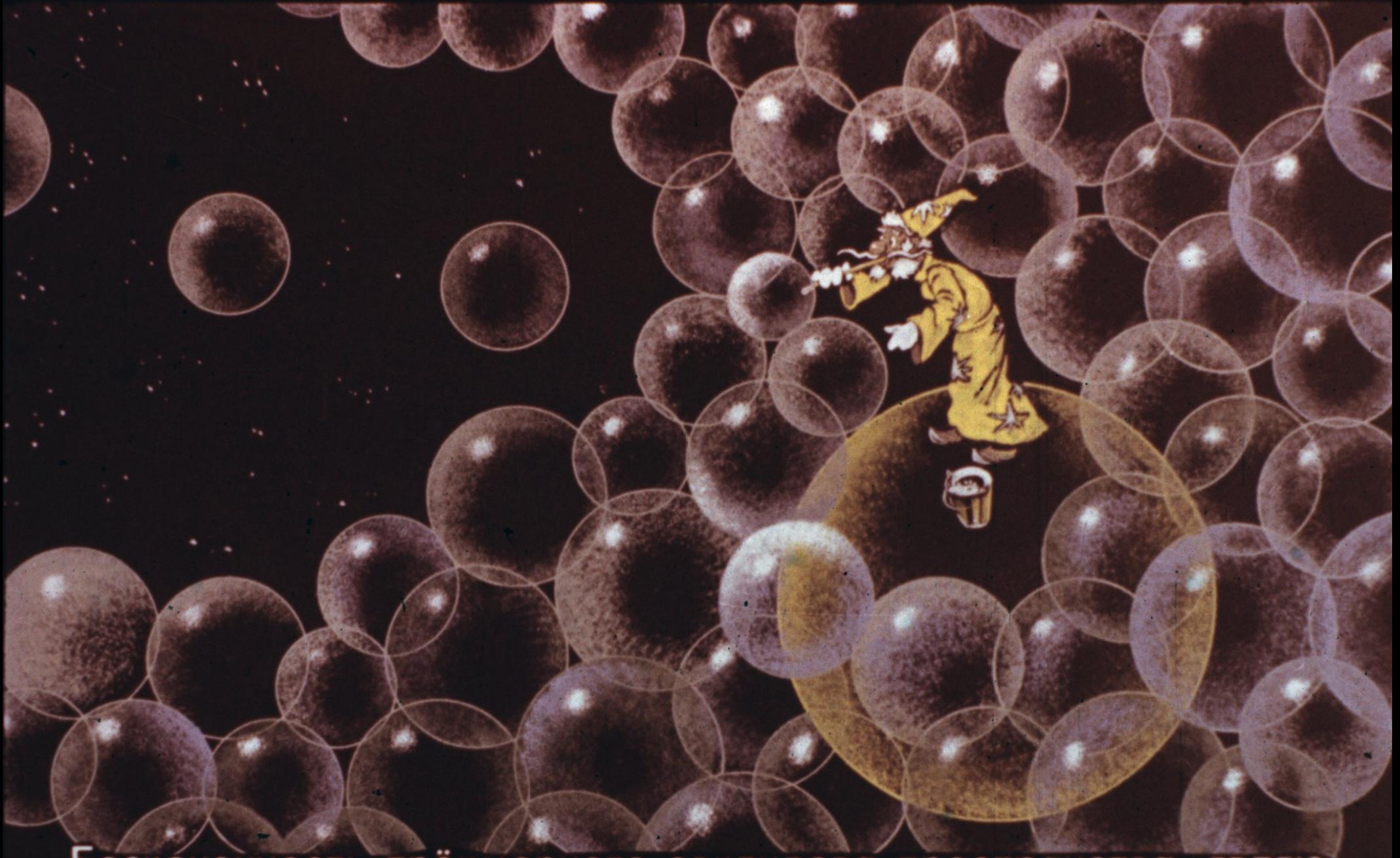
ВСЕЛЕННАЯ  
СТАТИЧНА

ВСЕЛЕННАЯ  
ОДНОРОДНА

ПРОСТРАНСТВО  
ЭВКЛИДОВО



Согласно Ньютону, Вселенная с течением времени не изменяется (статична), вещество в ней распределено равномерно (однородна) и существует в эвклидовом пространстве. [8]



Бесконечность трёхмерного евклидова пространства, являемогося вместилищем материи, означала, что это пространство можно бесконечно заполнять какими-нибудь объёмными телами.



?

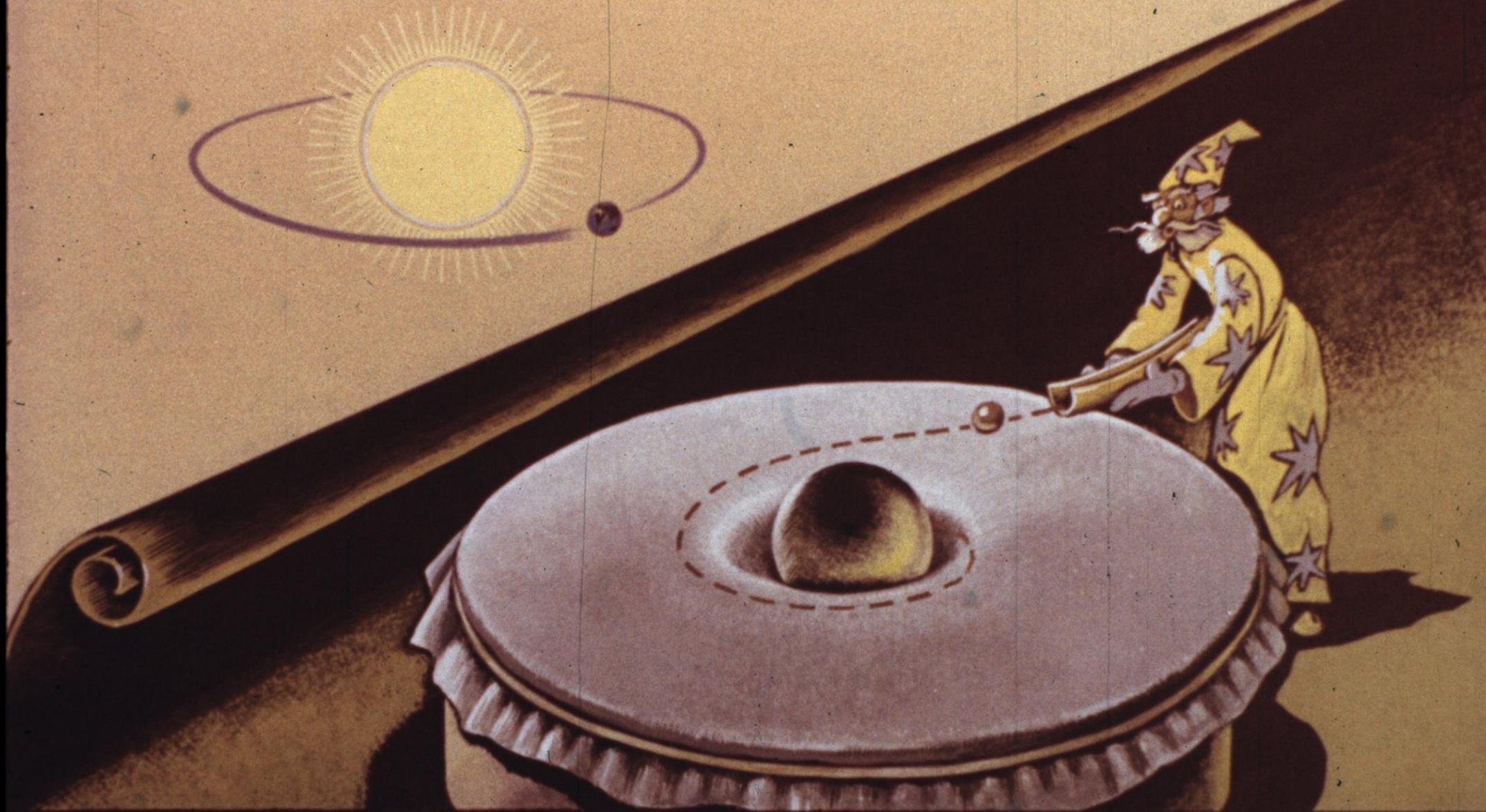


Но если в бесконечной Вселенной звёзды (или галактики) распределены равномерно, то почему же всё небо ночью не сияет так, как будто оно сплошь усыпано солнцами? □



Вывод об этом «фотометрическом парадоксе» следовал из такого рассуждения: от каждого шарового слоя, заполненного светилами, к нам приходит одинаковое количество света, а число слоёв бесконечно. С этим парадоксом справиться удалось не сразу!..

## II. СВЯЗЬ МАТЕРИИ С ГЕОМЕТРИЕЙ ВСЕЛЕННОЙ



Тяготение огромных массивных тел во Вселенной определяет движение менее массивных подобно тому, как тяжёлый шар, прогибая резиновую плёнку, предопределяет характер движения пробного шарика.

Видимое положение звезды

1,75



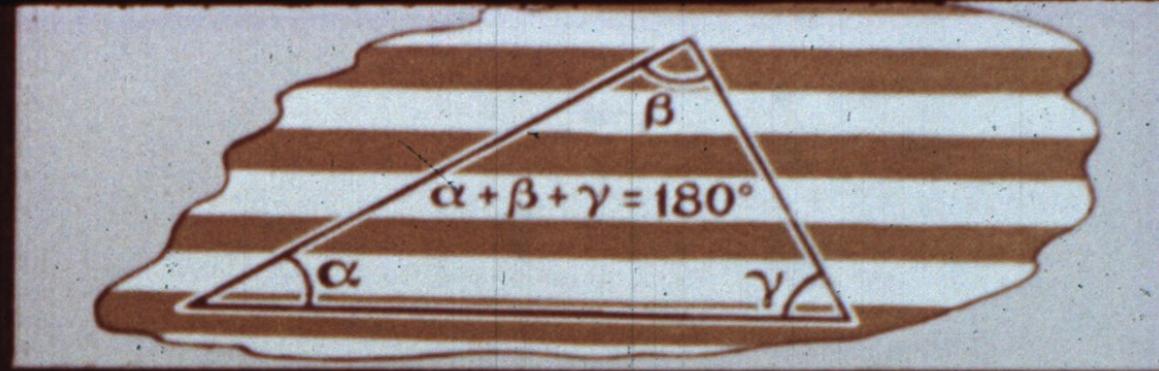
Звезда



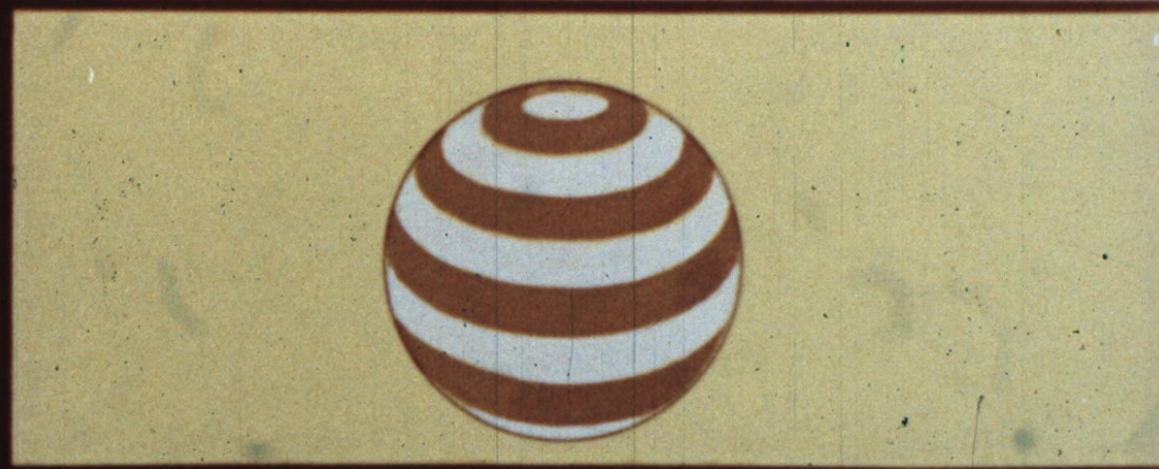
Массивные небесные тела не просто находятся в простран-

стве, а неразрывно связаны с ним и могут даже его искривлять. Этот вывод А. Эйнштейна подтверждается во время наблюдений полных солнечных затмений: лучи света звёзд искривляются в поле тяготения Солнца.

I. Эвклидова плоскость (с нулевой кривизной)



2. Неевклидова поверхность (с положительной кривизной) – сфера



3. Неевклидова поверхность (с отрицательной кривизной) – «псевдосфера»



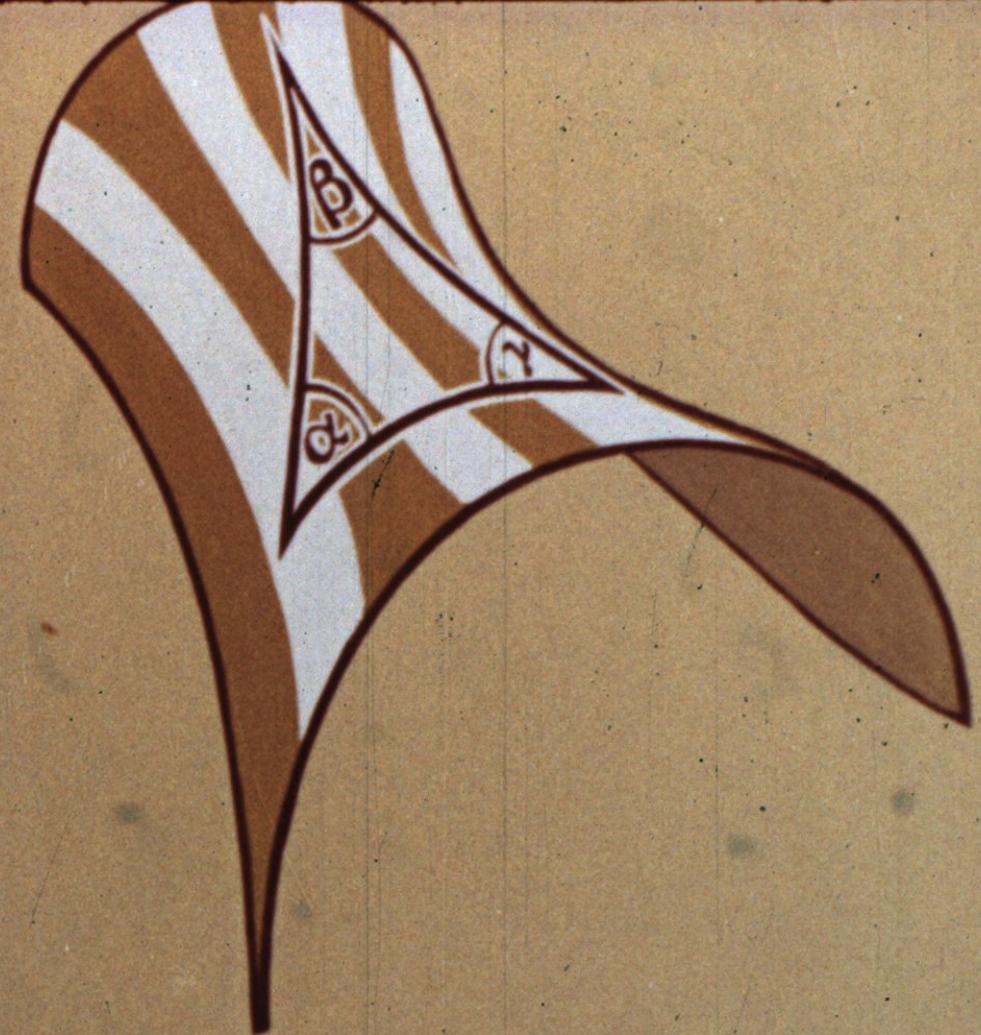
Перед вами различные двухмерные пространства. Изобразить искривлённое трехмерное пространство, к сожалению, невозможно, а ведь именно неевклидовым скорее всего является трёхмерное пространство Вселенной.



В этом случае трёхмерное пространство может оказаться конечным (замкнутым), но неограниченным. (*Сравните со сферой, которая безгранична, хотя имеет конечную площадь*). [15]

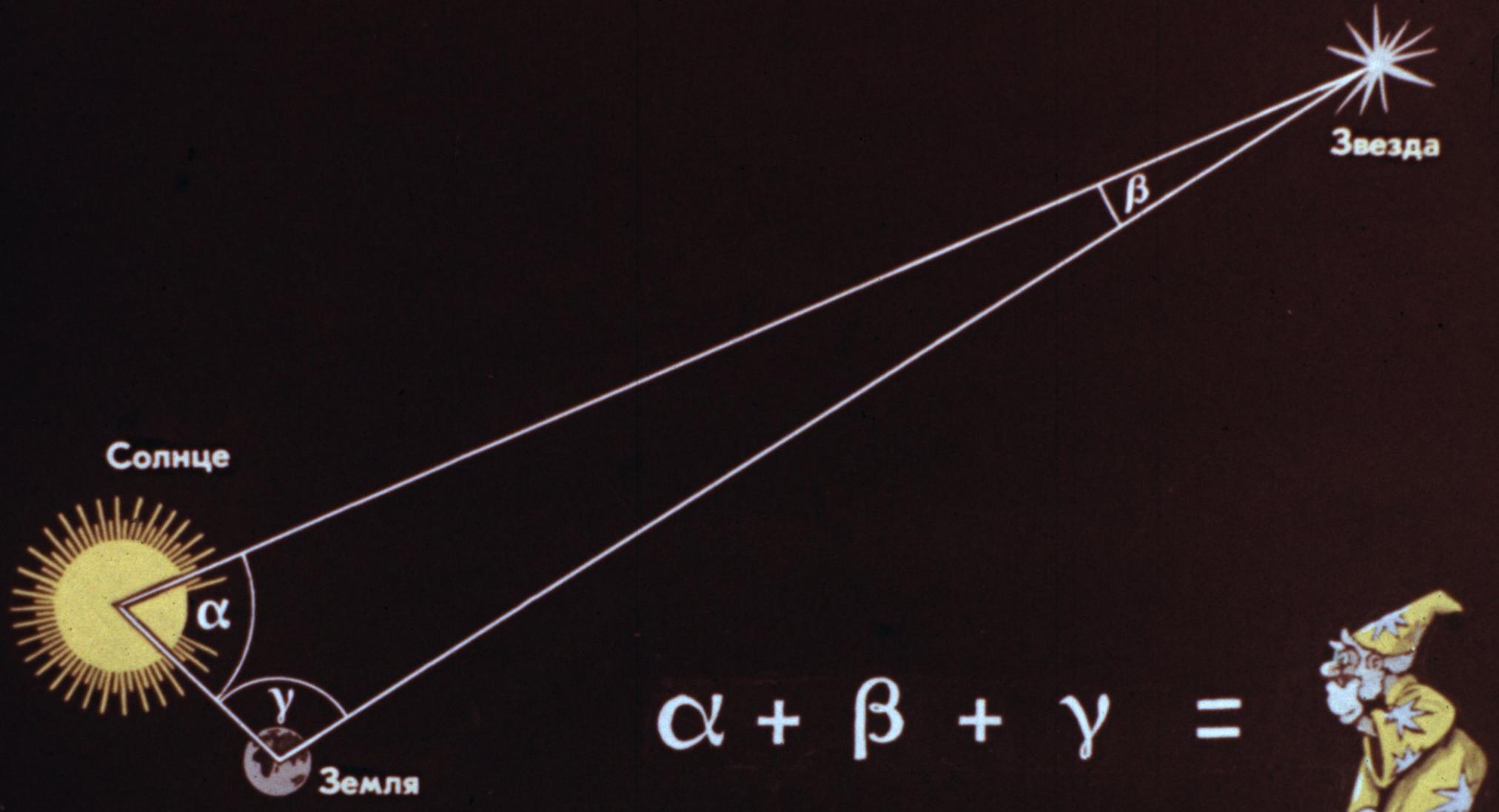


$$\alpha + \beta + \gamma > 180^\circ$$

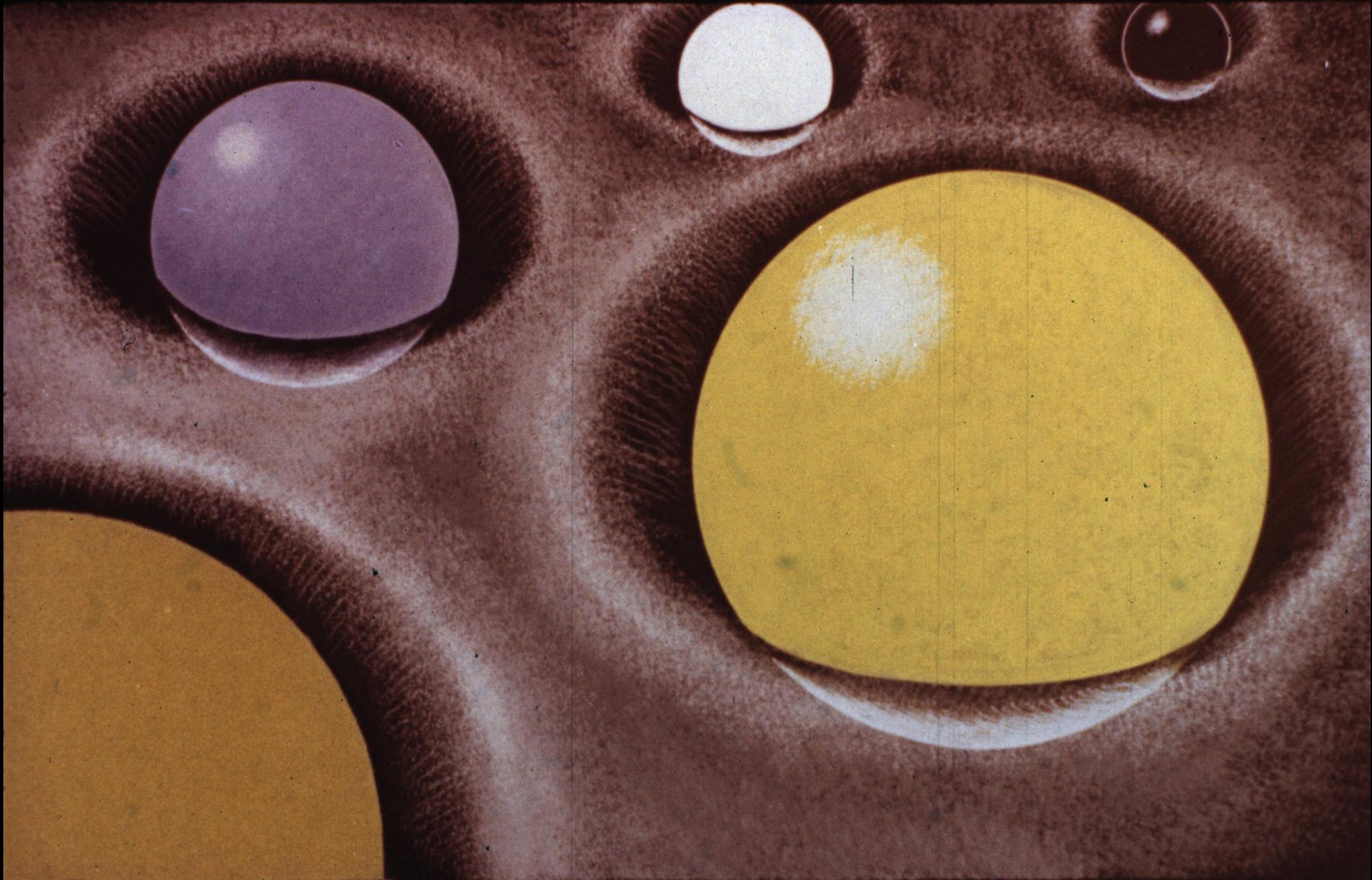


$$\alpha + \beta + \gamma < 180^\circ$$

«Обитатели» двухмерных неевклидовых миров, измерив углы в треугольниках, обнаружат, что сумма их неравна  $180^\circ$ . Следовательно, они живут на искривлённых поверхностях. [16]



В принципе и мы, рассматривая огромные треугольники, можем также убедиться в искривленности пространства, в котором живём. Но пока это неосуществимо, и учёным приходится искать другие методы доказательства кривизны пространства.



В космологии Эйнштейна пространство считается незвклидовым. Оно, как мы уже знаем, искривлено гигантскими массами материи, в среднем равномерно распределённой в нём.

Планеты

СОЛНЦЕ



Но как представить вещества во Вселенной распределённым равномерно, если известно, что, например, в масштабах Солнечной системы оно распределено явно неравномерно?



Оказывается, нужно рассматривать значительно большие масштабы пространства, охватывающие не только отдельные галактики, но и их скопления. Лишь в таких масштабах в какой-то мере проявляется равномерность в распределении вещества.

### III. РАСШИРЯЮЩАЯСЯ МЕТАГАЛАКТИКА



В 1922 году советский учёный А. Фридман доказал, что, если галактики распределены равномерно и одинаково по всем направлениям, то система галактик должна или расширяться или сжиматься. Это было неожиданно даже для Эйнштейна, считавшего, что Вселенная статична и не меняется со временем. [21]

**Скопление галактик в созвездии:**

Девы

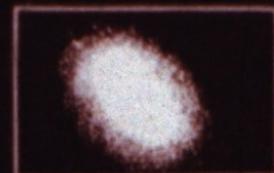
Большой Медведицы

Северной Короны

Волопаса

Гидры

**Расстояние от нас**



24 Мпс



300 Мпс



430 Мпс

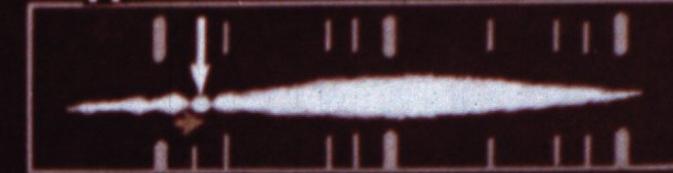


780 Мпс



1200 Мпс

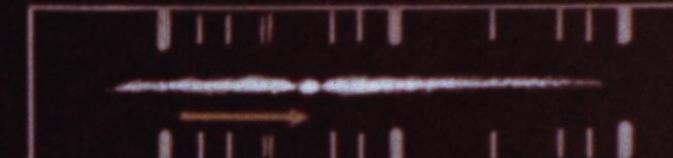
**Красные смещения и скорости движения галактик**



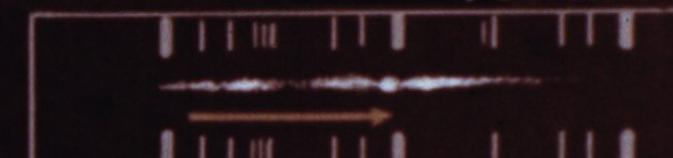
1200 км/с



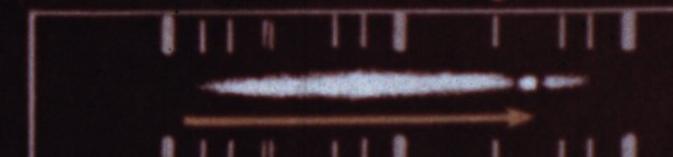
15000 км/с



22000 км/с



39000 км/с



61000 км/с

22

В 1929 году американский астроном Э. Хаббл установил, что линии в спектрах большинства галактик смещены к красному концу, причем тем больше, чем дальше от нас галактика.



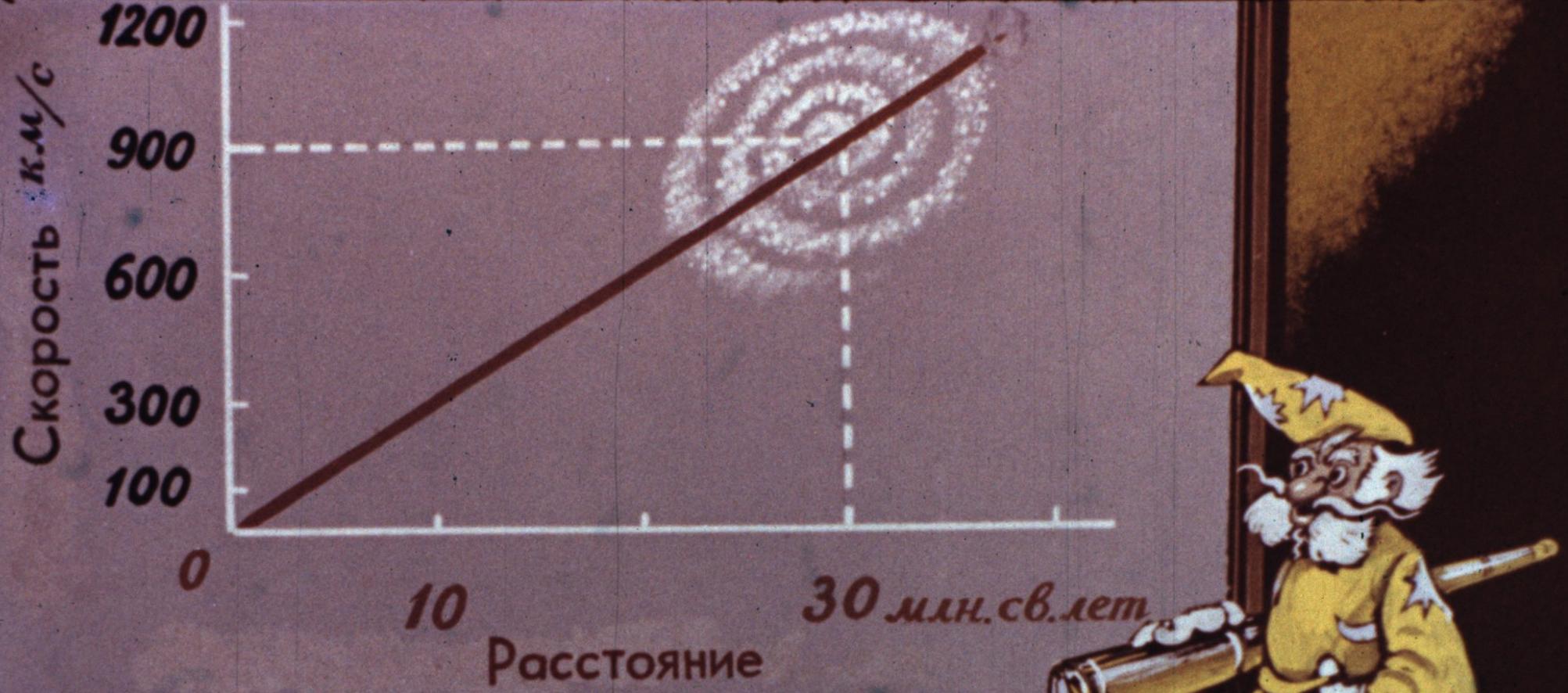
Но, согласно эффекту Доплера (в чём он заключается?), это означает, что галактики движутся со скоростями, пропорциональными расстоянию до них. Следовательно, Метагалактика расширяется!

$v = Hr$ , где

$$H \approx 50 \frac{\text{км}}{\text{сМпс}}$$



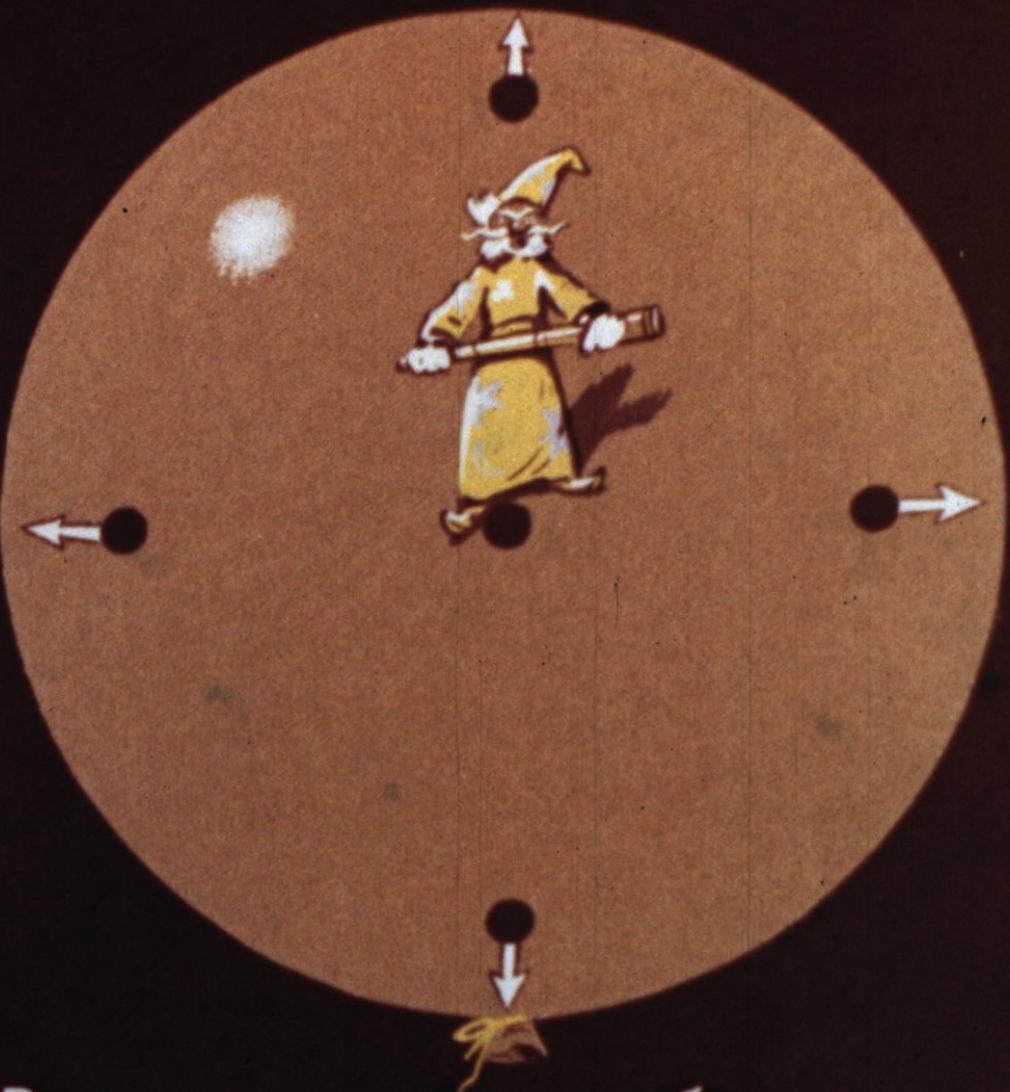
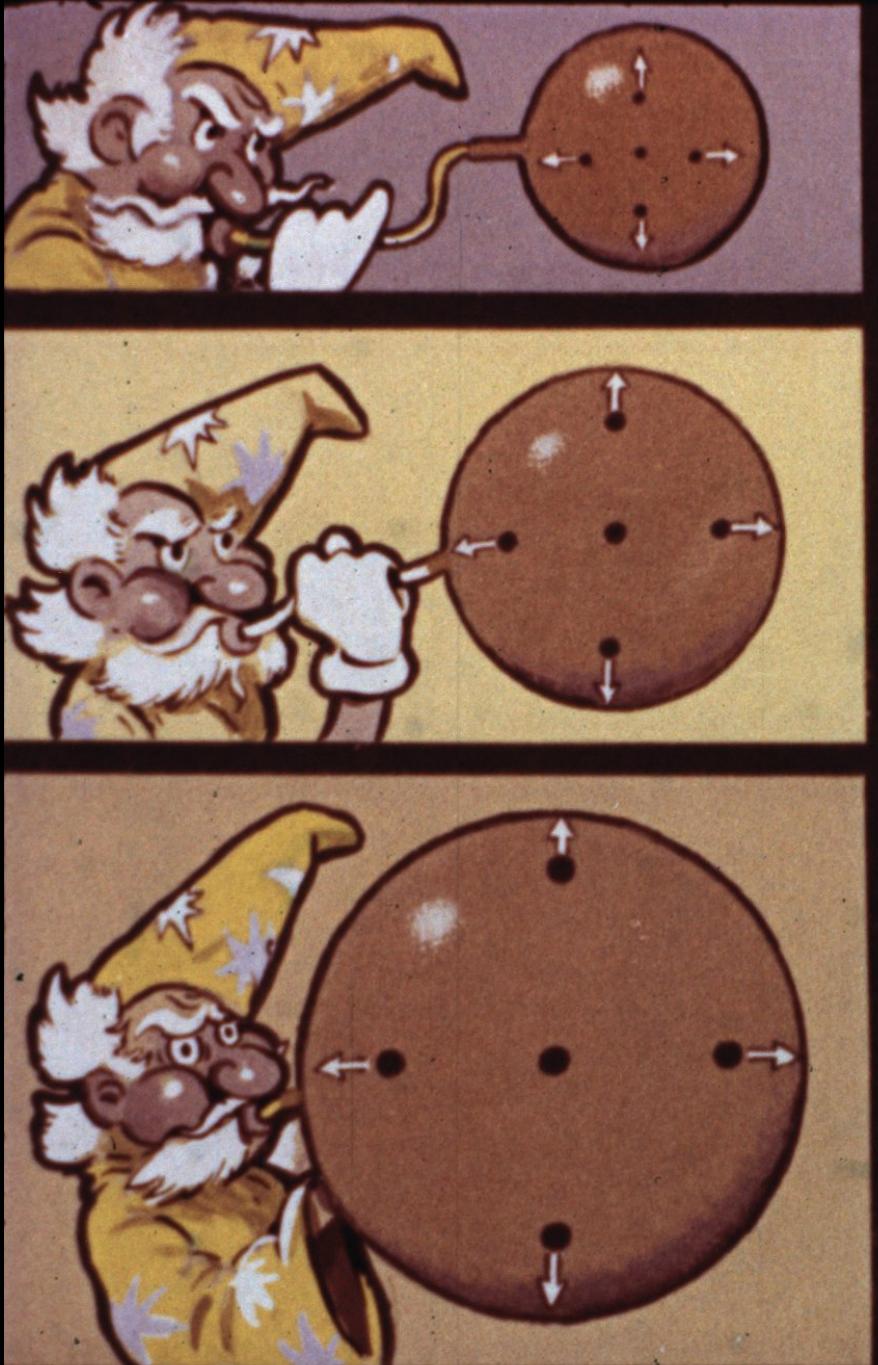
Открытый Хабблом закон расширения Метагалактики—один из фундаментальных законов природы. С какой скоростью удаляются друг от друга галактики, находящиеся на расстоянии 100 Мпс? Какова размерность  $H$ -постоянной Хаббла? [24]



Закон Хаббла не только даёт количественное описание предсказанного Фридманом, пожалуй, самого грандиозного явления природы, но и позволяет определять расстояния до галактик. (*Как?*)



Расширение Метагалактики проявляется только в гигантских внегалактических масштабах. Размеры же всех макроскопических (включая звезды, галактики, квазары) и микроскопических тел не меняются.  
*(Сравните с расширением тел при нагревании!)*



Рассмотрим какую-нибудь расширяющуюся сферу с нанесёнными метками. Ясно, что наблюдатель, находящийся в любой из меток, увидит, как все остальные от него удаляются. [27]



Так и при расширении Метагалактики происходит взаимное удаление галактик. Из любой галактики можно увидеть картину расширения Метагалактики. Значит, наша Галактика не находится в «центре Вселенной». Такого центра вообще не существует.

Обнаружив, что Метагалактика расширяется, ученые сумели объяснить фотометрический парадокс. Красное смещение, увеличивая длину волны излучения, ослабляет свет далеких галактик. Следовательно, излучение, приходящее от каждого последующего слоя, меньше, чем от предыдущего.

$$S_n = \frac{a - aq^n}{1-q} = \frac{a}{1-q} - \frac{a}{1-q} q^n$$

Т.к.  $|q| < 1$ , то

$$S = \lim_{n \rightarrow \infty} S_n = \frac{a}{1-q}, \quad a=1 \text{ и } q=\frac{1}{2}$$

$$S = \frac{a}{1-q} = \frac{1}{1-\frac{1}{2}} = 2$$



Пусть излучение от выбранного нами первого слоя есть  $I$ , а от последующих  $I/2, I/4, I/8\dots$ . Легко убедиться, что существует предел, к которому стремится сумма членов этой бесконечно убывающей геометрической прогрессии.



В 1965 году появилось важное экспериментальное доказательство расширения Метагалактики: было открыто электромагнитное излучение, пришедшее к нам от эпохи, когда еще не существовало ни галактик, ни звезд. Оно названо «реликтовым».

#### IV. ПРОШЛОЕ И БУДУЩЕЕ МЕТАГАЛАКТИКИ



Если известны расстояния до галактик ( $r$ ) и скорость их удаления от нас ( $v$ ), то можно оценить время, которое потребовалось им, чтобы, двигаясь с такой скоростью, оказаться на данном расстоянии.

$$H = 50 \frac{\text{км}}{\text{с} \cdot \text{Мпс}}$$

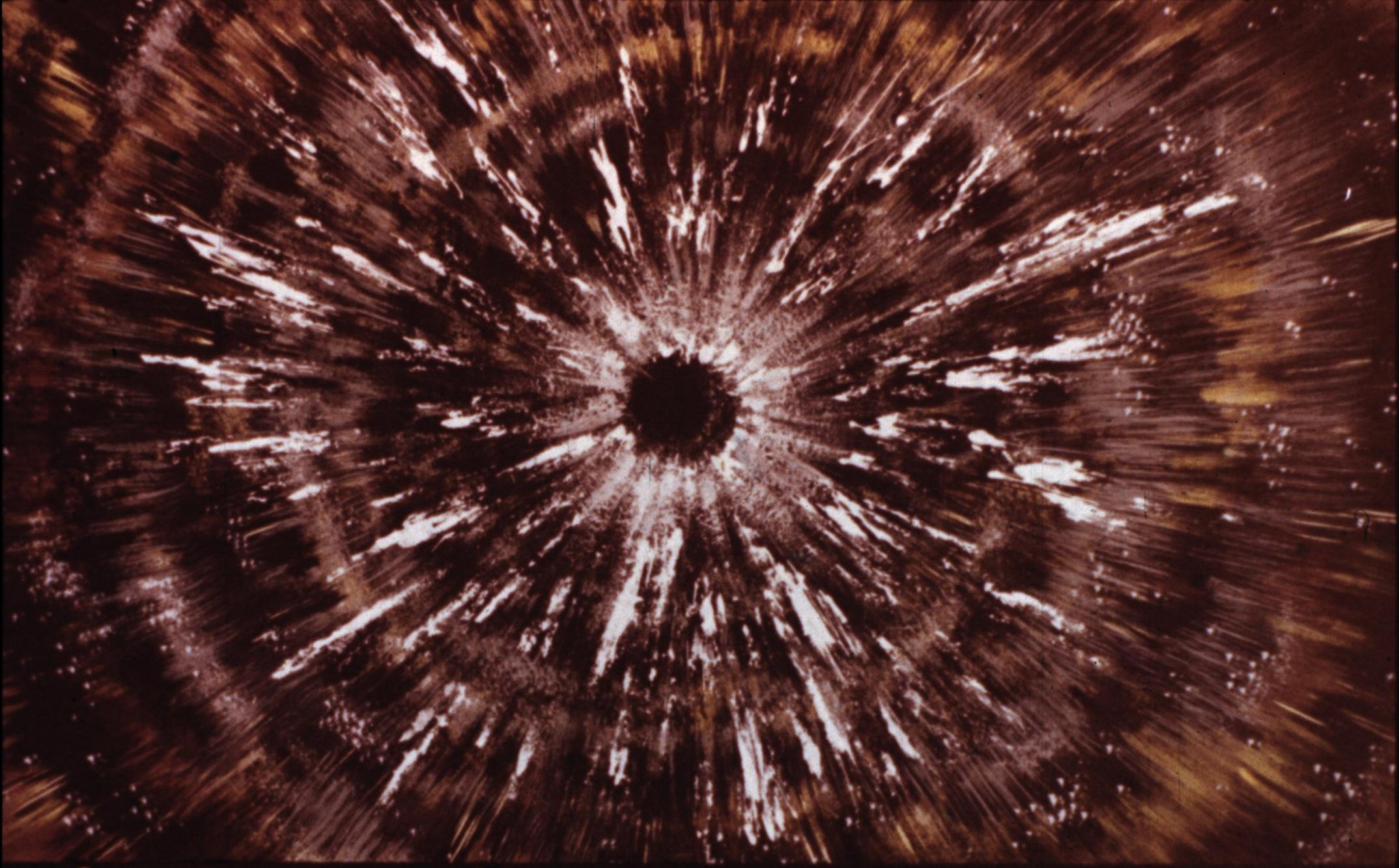
$$1 \text{Мпс} = 3,09 \cdot 10^{24} \text{ см}$$

$$1 \text{ год} = 3,1 \cdot 10^7 \text{ с}$$

$$T \approx \frac{1}{H} \approx 20 \cdot 10^9 \text{ лет}$$



Выяснилось, что это время одинаково для всех галактик ( $t_1 = t_2 = \dots = t$ ). Оно представляет собой время, протекшее с начала расширения Метагалактики. Можно вычислить его, зная величину  $H$ . Действительно,  $t = r : v = 1 : H$ .



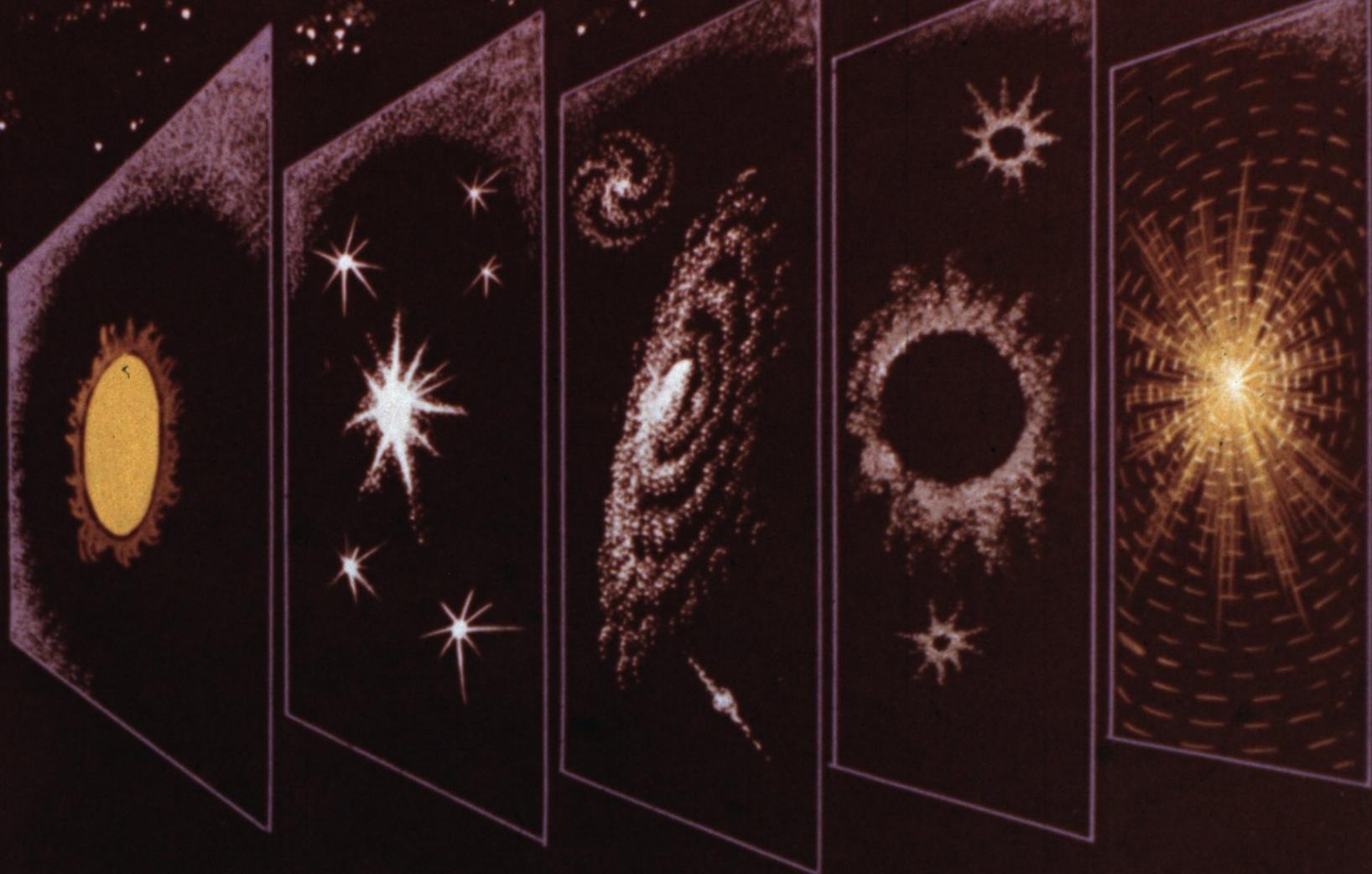
Значит, примерно 20 млрд. лет назад в результате явления, напоминающего грандиознейший взрыв, Метагалактика начала расширяться.



Квазар

10 млрд.св.лет

Можно ли «заглянуть»  
в столь отдалённую эпоху?  
Оказывается, да. Ведь можно  
наблюдать, например, квазары, на-  
ходящиеся от нас на расстоянии в миллиарды световых лет.  
*Каков возраст этих объектов?*



Солнце

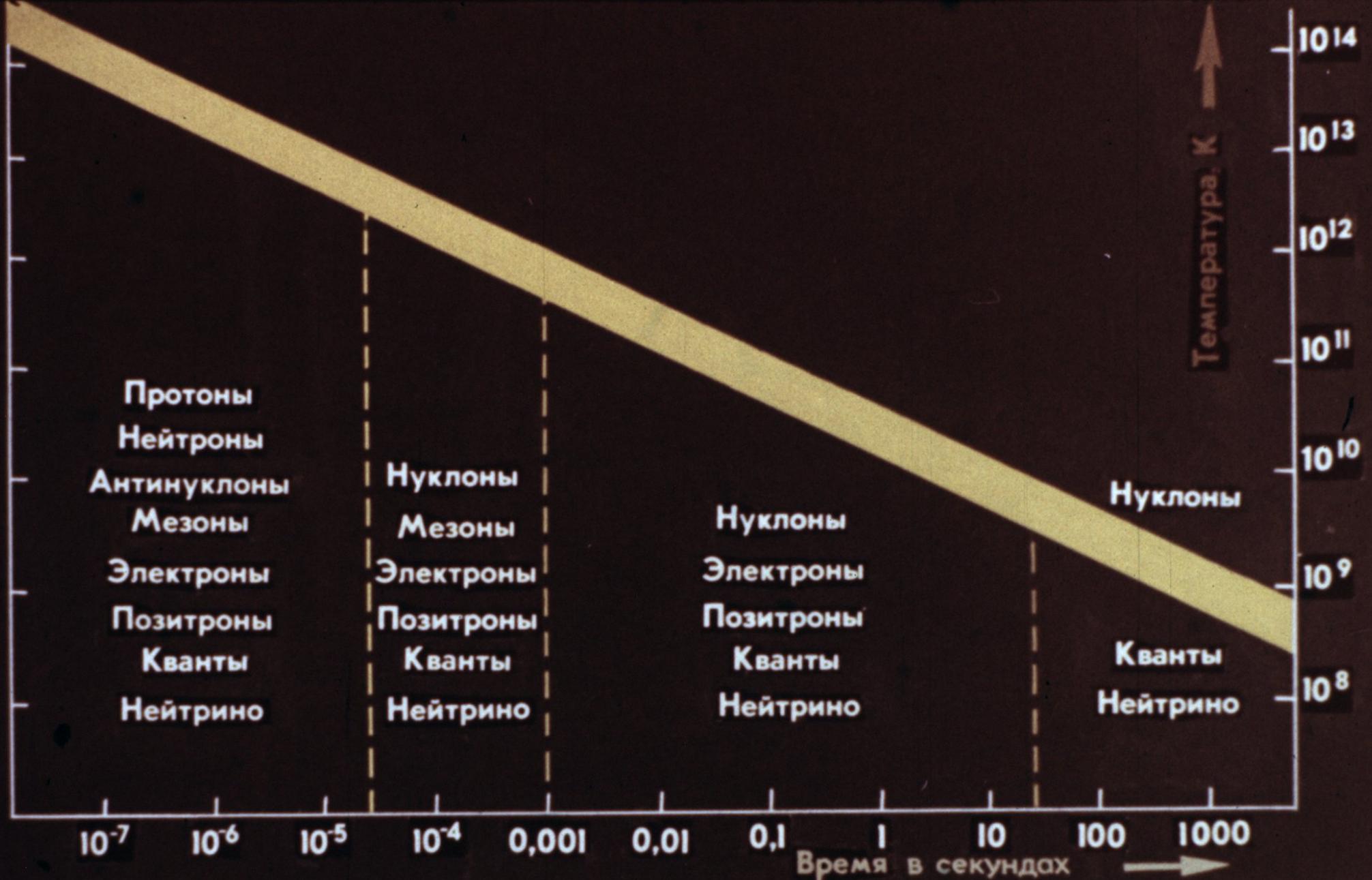
Звезды

Галактики

Квазары

Реликтовое излучение

Еще более древним, чем звезды, галактики, квазары, является реликтовое излучение. Его исследование позволяет ученым еще ближе «подойти» к началу расширения Метагалактики.



В далеком прошлом вещество находилось в сверхплотном состоянии и имело сверхвысокую температуру. С течением времени температура падала, состав элементарных частиц изменялся.

Прошло  $10^4$  с



Прошло 10 с



Прошло  $10^6$  лет



Прошло  $10^{10}$  лет



Прошло 20 млрд. лет

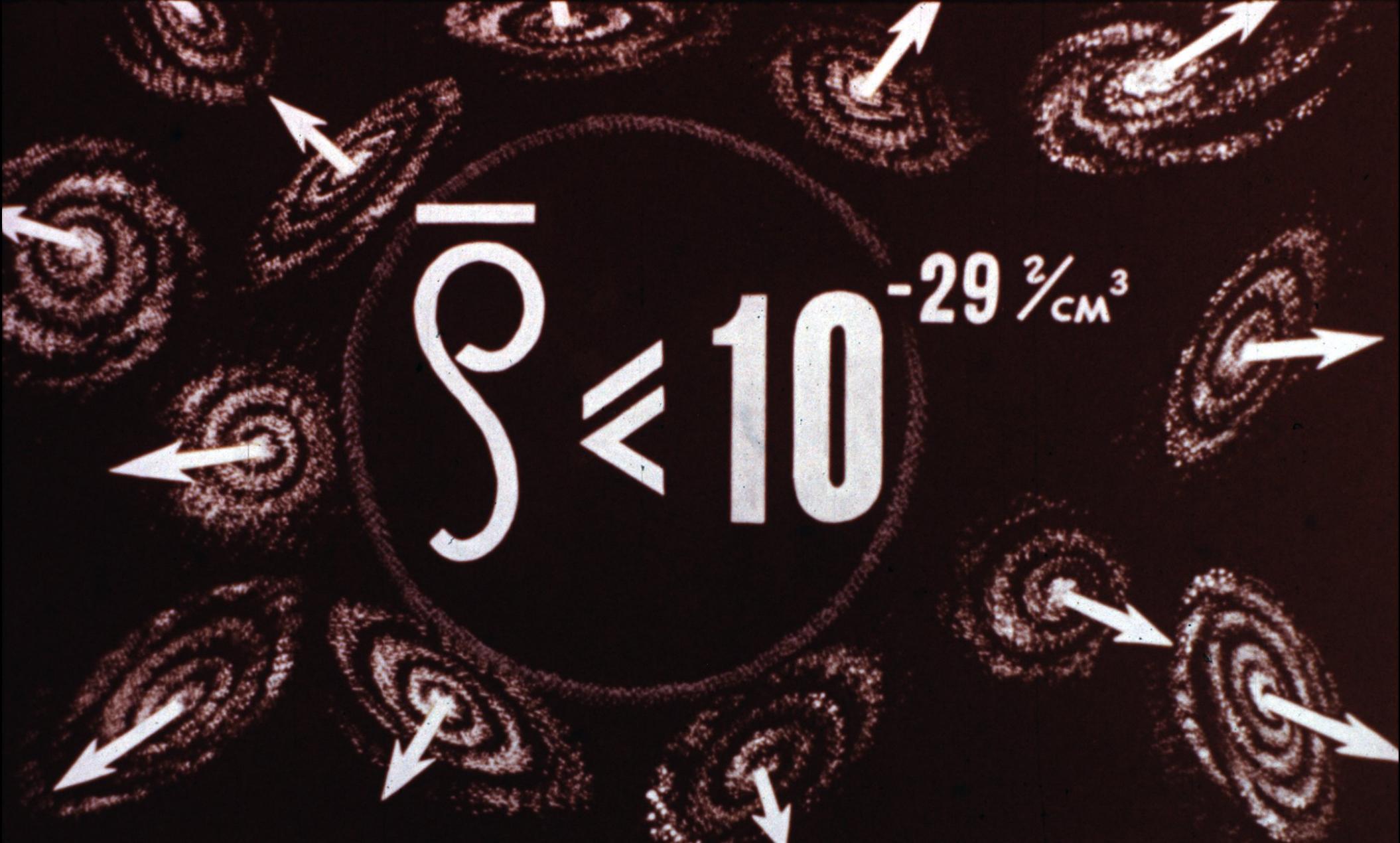
При этом непрерывно уменьшалась и средняя плотность вещества в Метагалактике. Сейчас она очень мала — порядка  $10^{-31}$  г/см<sup>3</sup>.



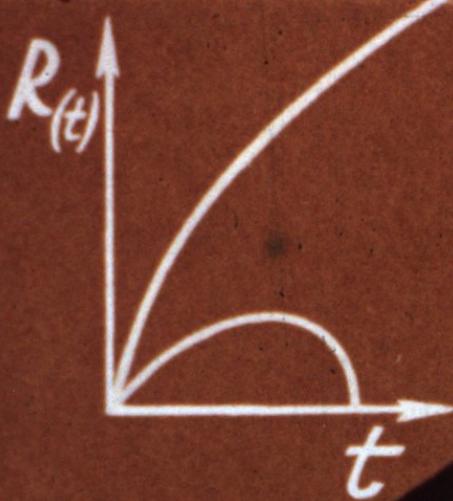
Точно определить эту величину чрезвычайно трудно, ведь нужно учитывать все виды вещества и излучения. Но в системах галактик, в пространстве между галактиками и в самих галактиках вещество может находиться и в ненаблюдаемых пока формах.

$$\bar{\rho} > 10^{-29} \text{ g/cm}^3$$

Из теории Фридмана следует, что если средняя плотность окажется больше некоторой критической величины (порядка  $10^{-29} \text{ г}/\text{см}^3$ ), то в будущем тяготение сумеет остановить расширение Метагалактики и даже заставит её сжиматься. 40


$$\bar{\rho} \leq 10^{-29} \text{ g/cm}^3$$

Если же средняя плотность равна или меньше критической, то расширение будет продолжаться неограниченно. Дальнейшие наблюдения и теоретические исследования позволят сделать вывод о судьбе Метагалактики.



# КОНЕЦ

Диафильм сделан по заказу  
Министерства просвещения СССР

Автор кандидат педагогических наук  
Е. Левитан

Художник С. Волков

Художественный редактор Г. Равинская

Редактор В. Чернина

Студия «Диафильм» Госкино СССР, 1976 г.  
101000, Москва, Центр, Старосадский пер., д. № 7

Цветной 0-30  
Д-173-76