

IX 1981

7

2

7

TY-19-241-77

0

5

студия
ДИАФИЛЬМ



07—3—429



ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЙ ДО НЕБЕСНЫХ ТЕЛ

Диафильм по астрономии для 10 класса

К сведению учителя

Определение расстояний до небесных тел—необходимый этап в построении астрономической картины мира и познании природы небесных тел. Совершенствуя методы исследования и создавая новые инструменты, ученые со все возрастающей точностью определяют расстояния до Луны, планет, Солнца, звезд, туманностей, галактик.

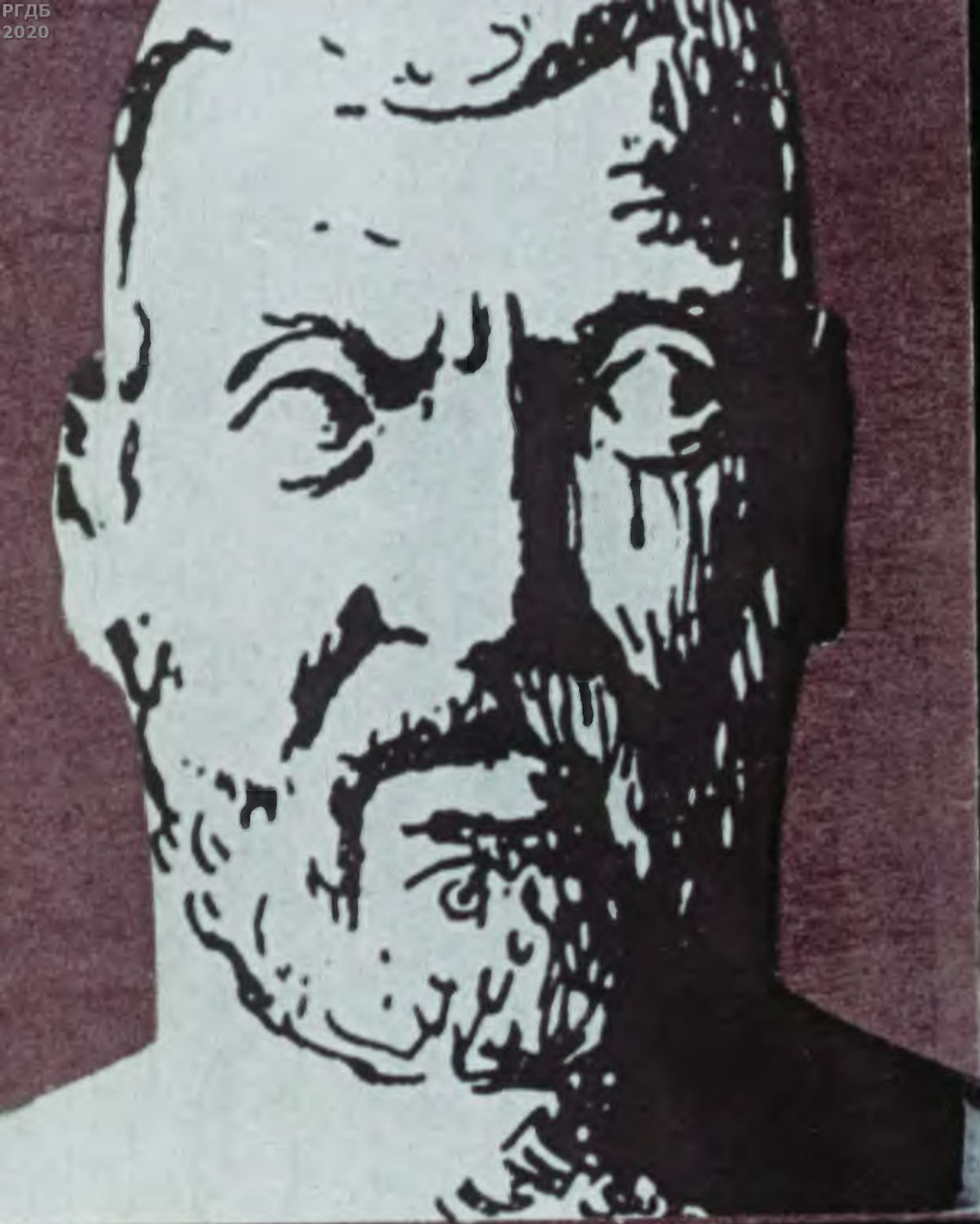
Демонстрировать фрагменты диафильма целесообразно на уроках по соответствующим темам курса.

І. ПЕРВЫЕ
ОПРЕДЕЛЕНИЯ
РАССТОЯНИЙ
ДО ЛУНЫ,
СОЛНЦА
И ПЛАНЕТ.

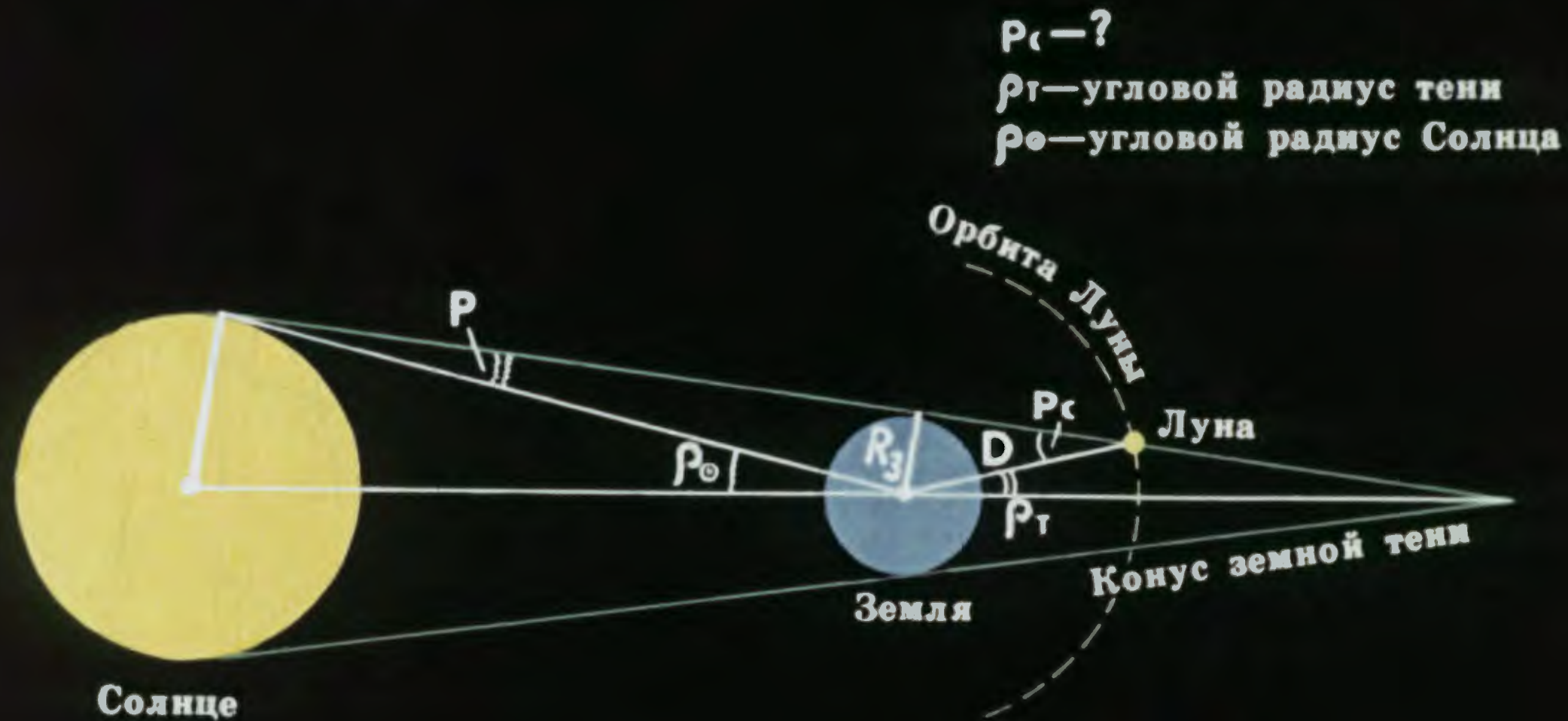




Как далеки от нас небесные тела?
Это нужно знать, чтобы получить правильное представление о строении Вселенной, вычислить размеры небесных тел, рассчитать траектории полетов космических кораблей к Луне и планетам Солнечной системы.



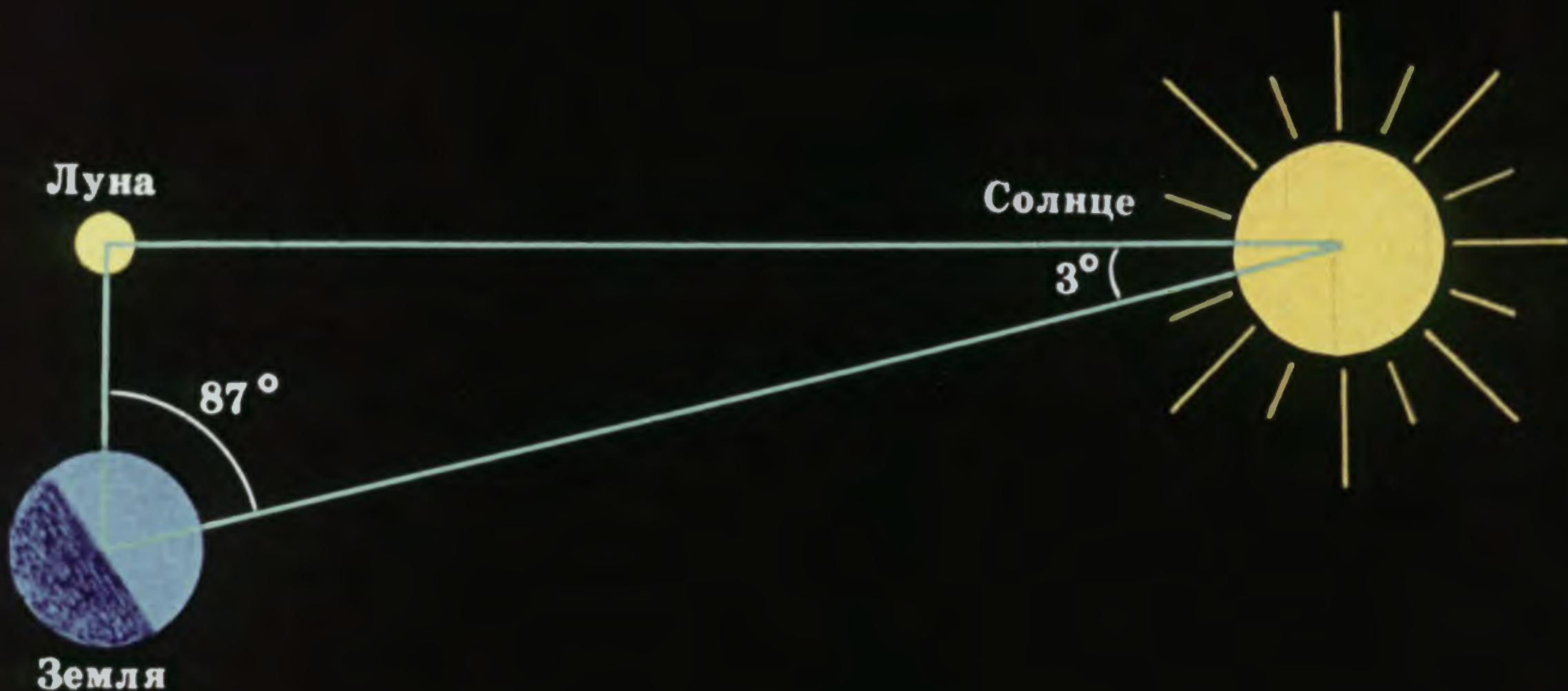
Еще в III в. до н. э. греческий ученый Аристарх Самосский предложил остроумные способы определения расстояний до Луны и Солнца, которые впоследствии были усовершенствованы другими астрономами.



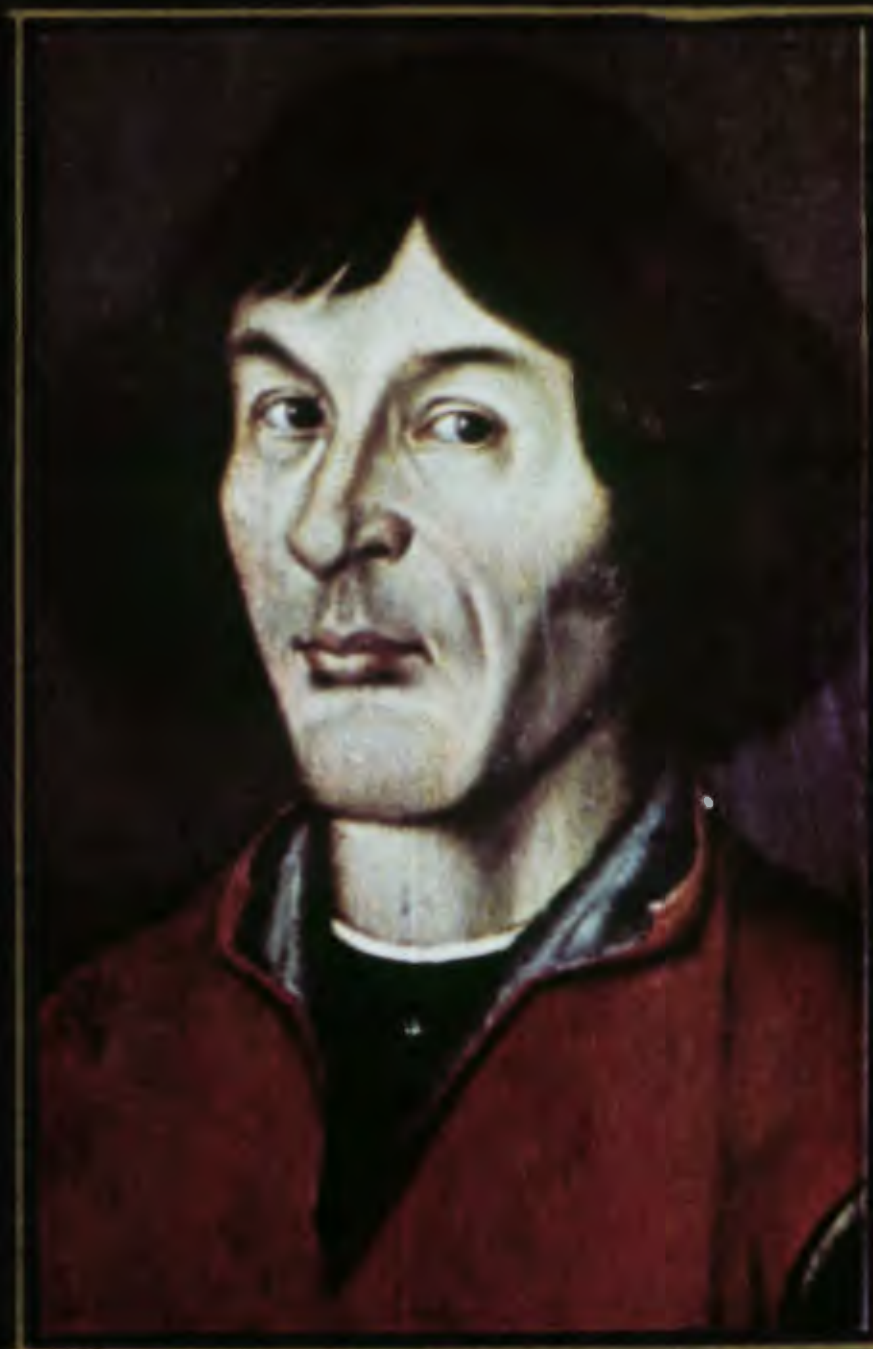
$$\angle \rho + \angle \rho_c = \angle \rho_\odot + \angle \rho_T \quad \underline{\angle \rho_c \approx \angle \rho_\odot + \angle \rho_T}$$

$\angle \rho$ — мал.

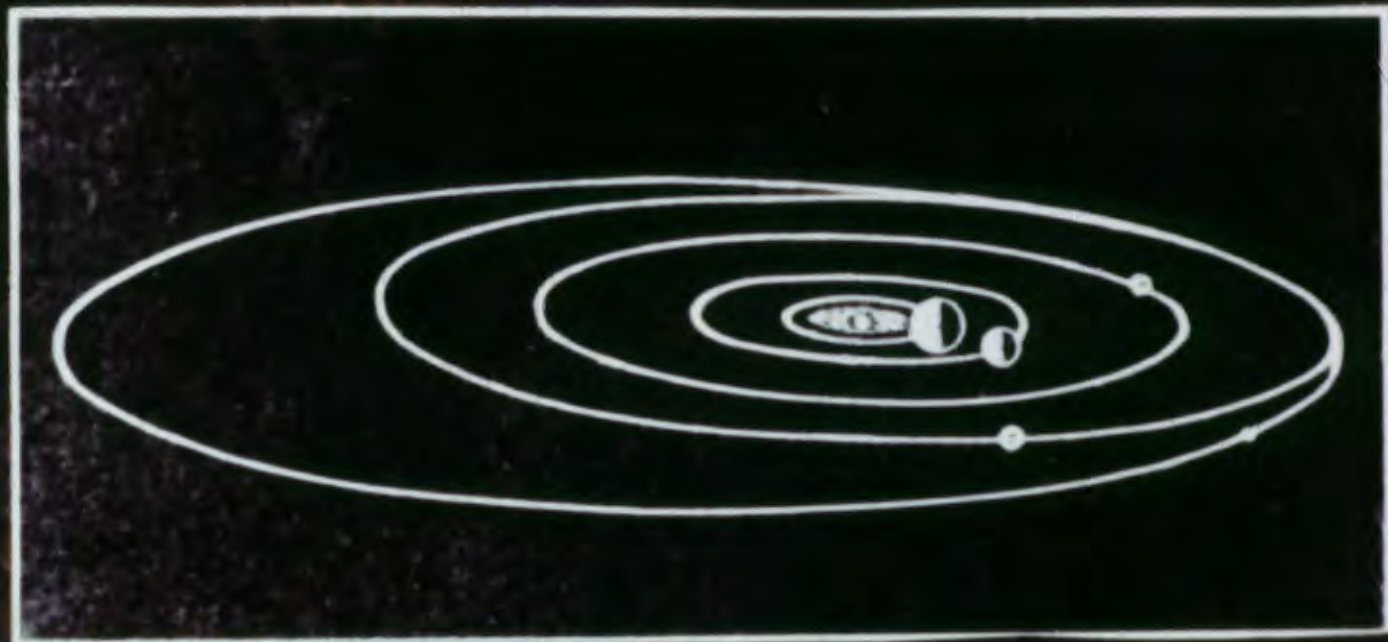
Зная угловые радиусы Солнца ($\rho_\odot$) и земной тени во время лунного затмения (ρ_T), они вычисляли угол ρ_c , а затем и расстояние от Земли до Луны ($D \approx 60R_3$; чертеж не в масштабе).



Во время первой (или последней) четверти Луны древние астрономы очень грубо измеряли угол между Лунной и Солнцем и на основе этого оценивали расстояние от Земли до Солнца.

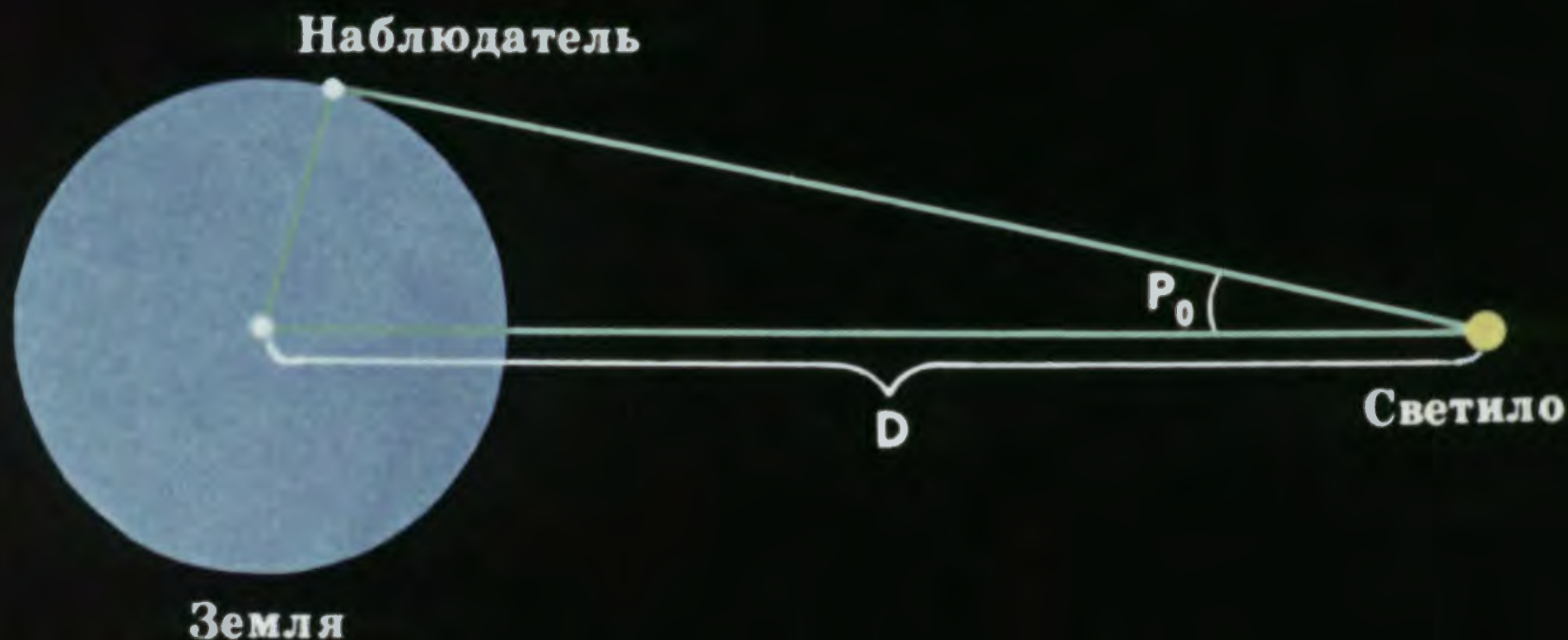


Простой способ определения относительных расстояний планет от Солнца (расстояние от Земли до Солнца принимается за единицу) предложил Коперник. В чем заключается этот метод? К каким планетам он применим?

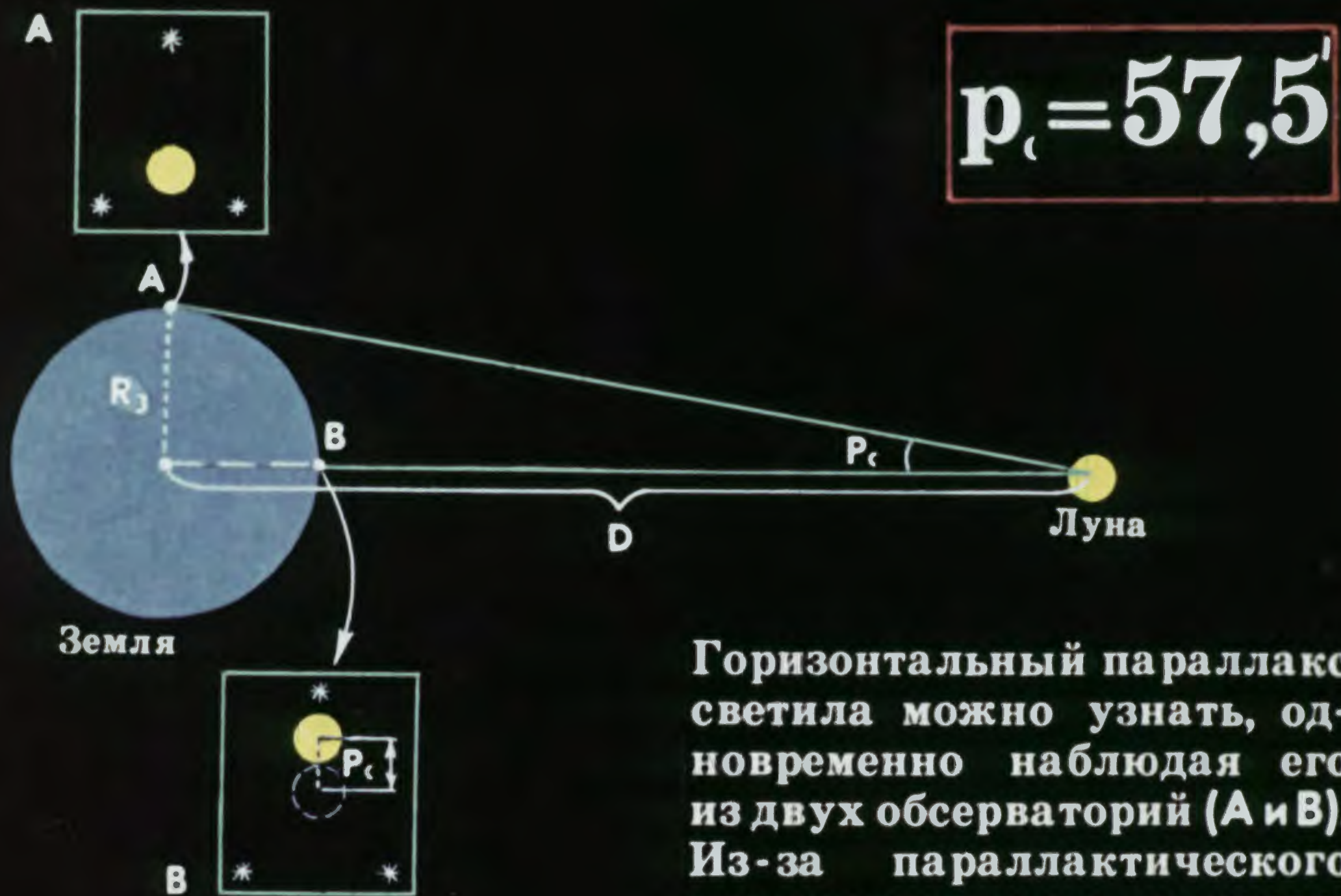


**II. СОВРЕМЕННЫЕ
МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
РАССТОЯНИЙ
ДО ТЕЛ СОЛНЕЧНОЙ
СИСТЕМЫ.**

$$D = \frac{R_3}{\sin p_0}$$



Один из важнейших методов определения расстояний до тел Солнечной системы основан на точном измерении их горизонтальных параллаксов (P_0). Что такое горизонтальный параллакс?



Горизонтальный параллакс светила можно узнать, одновременно наблюдая его из двух обсерваторий (А и В). Из-за параллактического смещения расположение светила по отношению к звездам будет различным. 11



$$D = \frac{ct}{2}$$

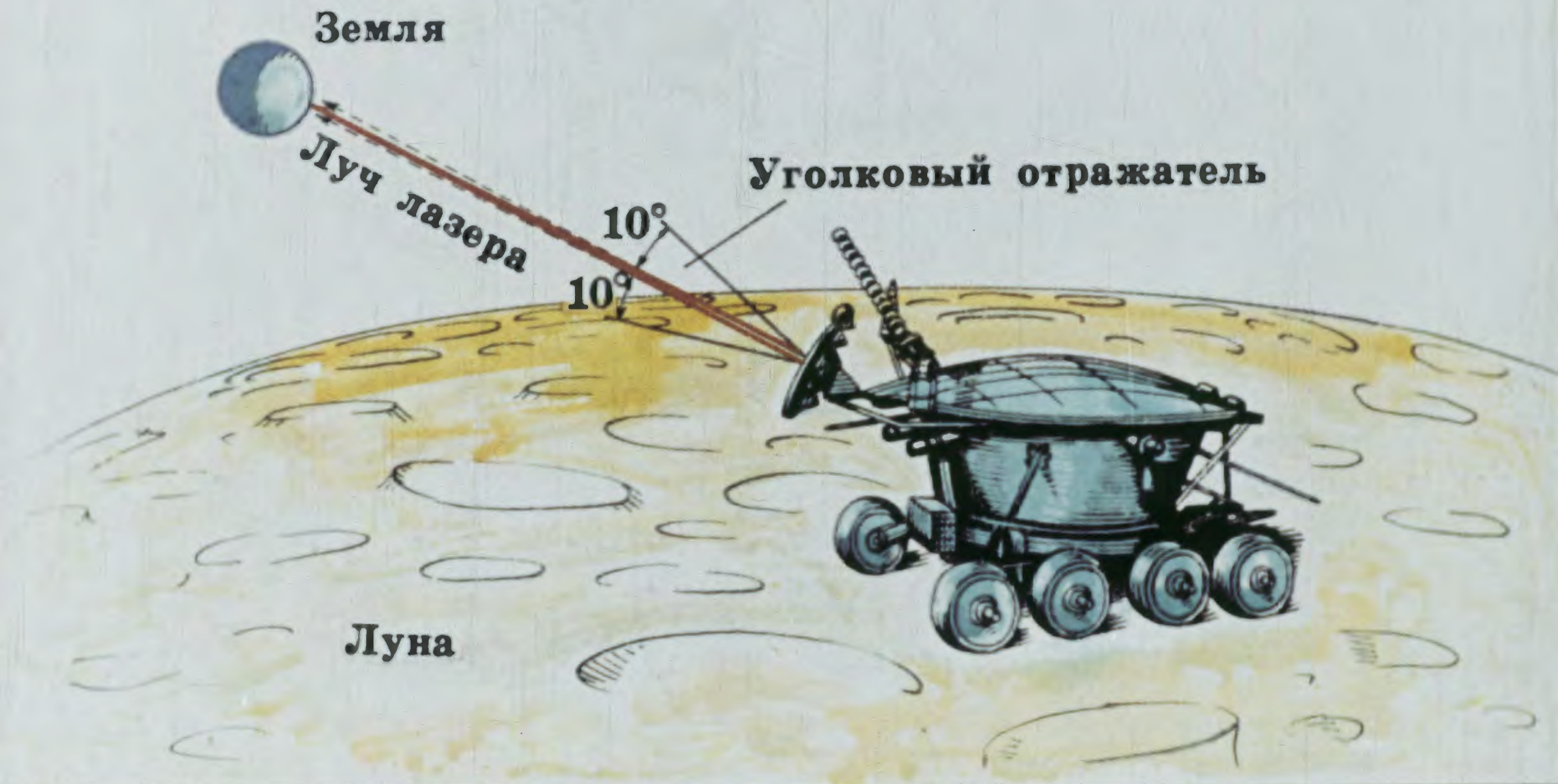
Один из методов определения расстояния от Земли до Луны — радиолокационный. Радиоволны, скорость распространения которых известна ($c = 299.792.458$ м/с), преодолевают путь от Луны и обратно за время $2t = 2,56$ с.

**Среднее расстояние
Луны от Земли
384 400 км**



Расстояние от Земли до Луны непрерывно изменяется вследствие эллиптичности лунной орбиты (I закон Кеплера), достигая наибольшего значения в апогее, а наименьшего в перигее.

Схема лазерной локации Луны

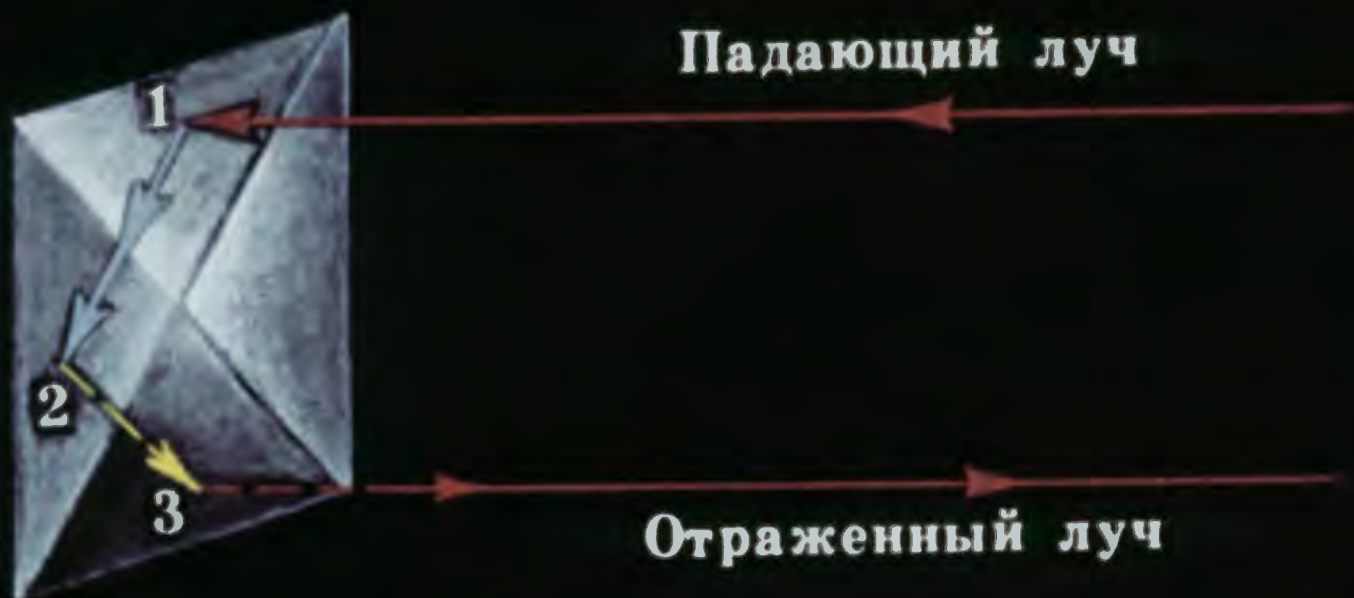


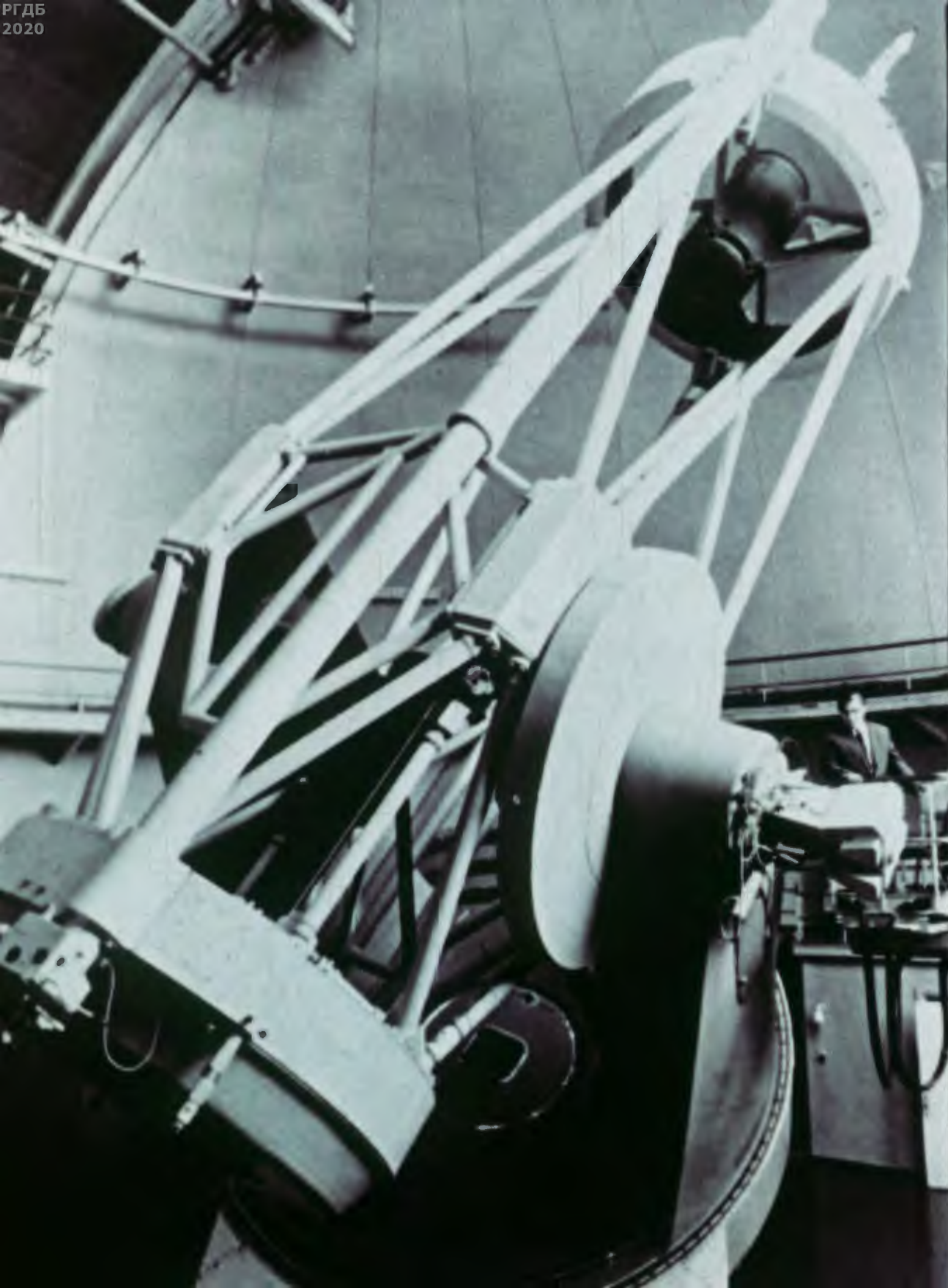
Новейшие определения расстояния между данными точками на Земле и Луне основаны на лазерной локации Луны. Она стала возможной благодаря достижениям космонавтики.



**Общий вид уголкового
отражателя.**

Французский отражатель лазерных лучей был установлен на «Луноходе - 1» и «Луноходе - 2». Он состоял из нескольких призм. Каждая представляет собой уголок, отрезанный от куба. Свет падает на плоскость среза и после трехкратного внутреннего отражения идет параллельно падающему лучу.





Один из локаторов, посылавших лазерные лучи, находился на 2,6-метровом телескопе Крымской астрофизической обсерватории АН СССР. Достигнутая в 1970 г. точность измерения (± 3 м) была впоследствии увеличена.

Общий вид телескопа.



**Антенна центра
дальней
космической
связи (СССР).**

Начиная с 1961 г. успешные эксперименты по радиолокации Венеры, Меркурия, Марса и других планет проводились в СССР, США, Англии. Потребовалась чувствительность систем в миллионы раз большая, чем для локации Луны. (Почему?)



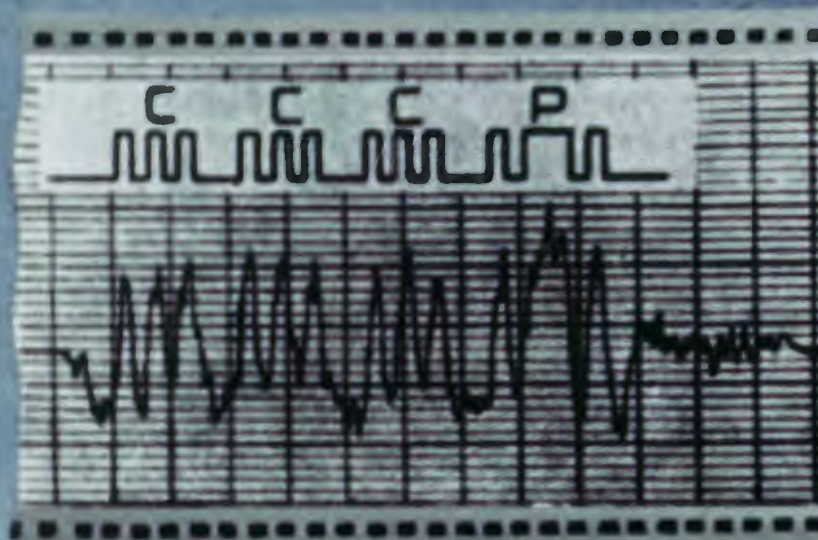
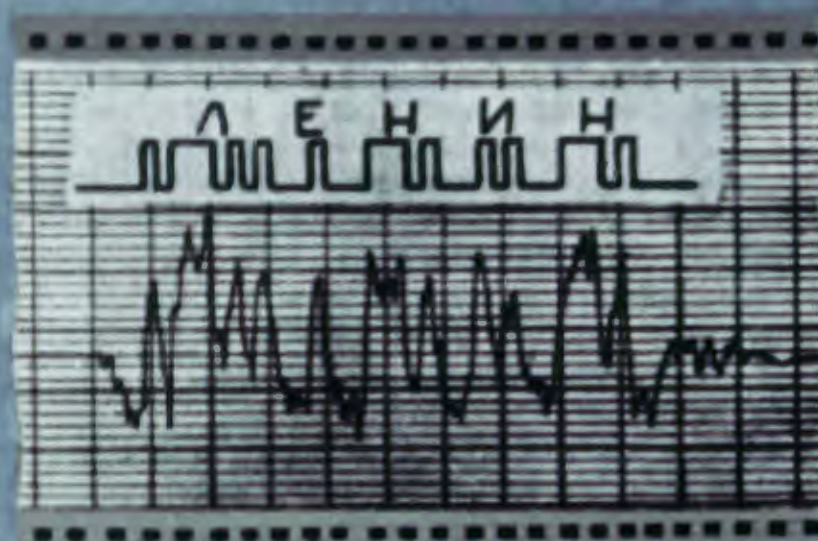
$$\frac{x^3}{(x - a_1)^3} = \frac{T_3^2}{T_B^2}$$

$$x = 1 \text{ а. е.}$$

$$1 \text{ а. е.} = 149\,597\,870 \text{ км}$$

$$(p_0 \approx 8,794'')$$

Определив радиолокационным методом расстояние между Землей и планетой, например, Венерой, можно, исходя из III закона Кеплера, найти одну из фундаментальных астрономических постоянных — астрономическую единицу (I а. е.).



В 1963 г. советские ученые во главе с академиком В. А. Котельниковым впервые осуществили радиосвязь через Венеру. Перед вами осциллограмма телеграфных сигналов, отраженных от Венеры, и переданные азбукой Морзе слова — мир, Ленин, СССР.

III. РАССТОЯНИЯ
ДО ЗВЕЗД,
ТУМАННОСТЕЙ
И ЗВЕЗДНЫХ
СКОПЛЕНИЙ.



$$D = \frac{a}{\sin \pi}$$

Годичные параллаксы ближайших звезд удалось определить, взяв в качестве базиса радиус орбиты Земли. (Что такое годичный параллакс?)

61 Лебеда
($\pi \approx 0,29''$) 11,1 св. л.
Бессель (Германия)

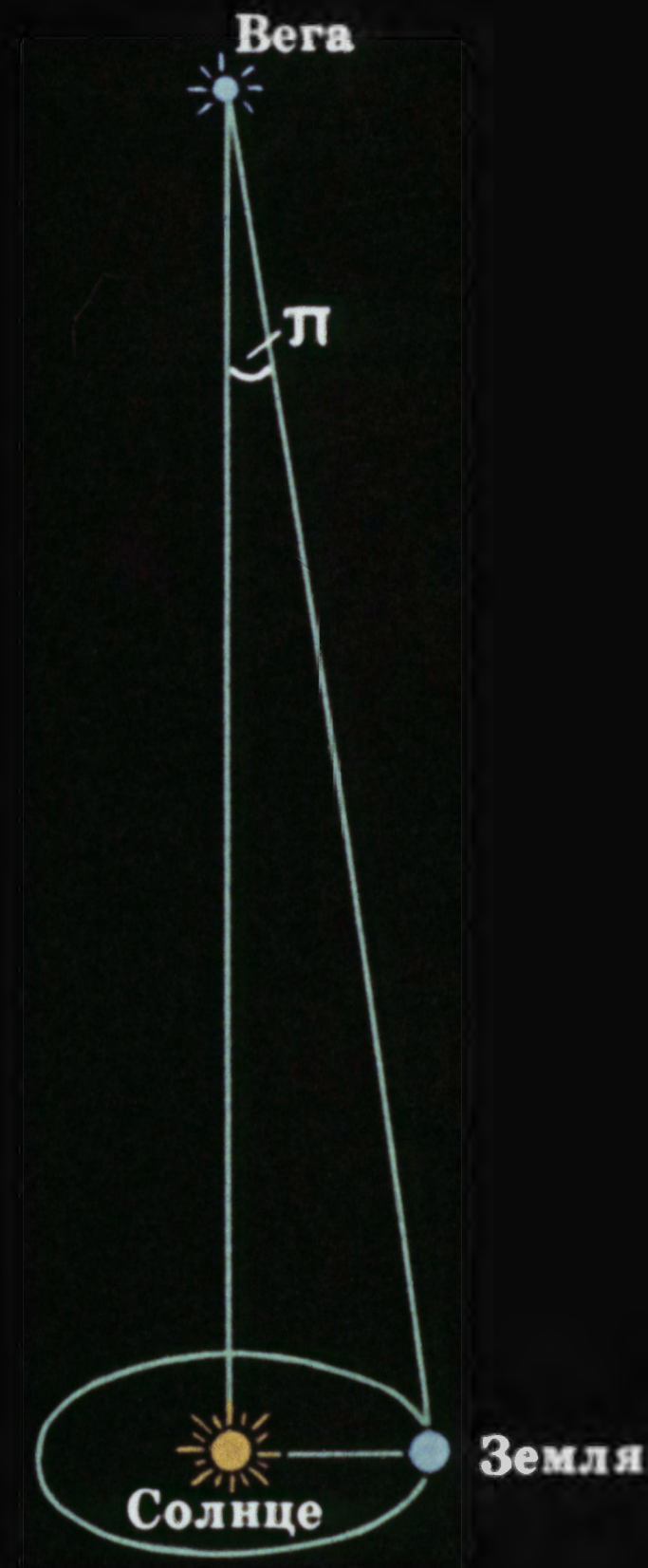
Вега
($\pi \approx 0,12''$) 27 св. л.
Струве (Россия)

Земля

α Центавра
($\pi \approx 0,76''$) 4,3 св. г.
Гендерсон (Англия)

Звезды очень далеки от нас, а их параллактические смещения ничтожно малы и долгое время не поддавались обнаружению. Лишь в 1835—1838 гг. были впервые определены параллаксы трех звезд.

Этот чертеж условно изображает годичный параллакс Веги. Но соотношение углов и расстояний не выдержано: для наглядности угол π пришлось увеличить в ...100 000 раз!



Звезда	Расстояние	
	парсек	св. годы
Альфа Центавра Звезда	1,3	4,3
Барнарда	1,8	5,9
Вольф 359	2,4	7,7
Сириус	2,7	8,7
61 Лебедя	3,4	11,1
Процион	3,5	11,3
Звезда Каптейна	3,9	12,7
Альтаир	4,8	15,7

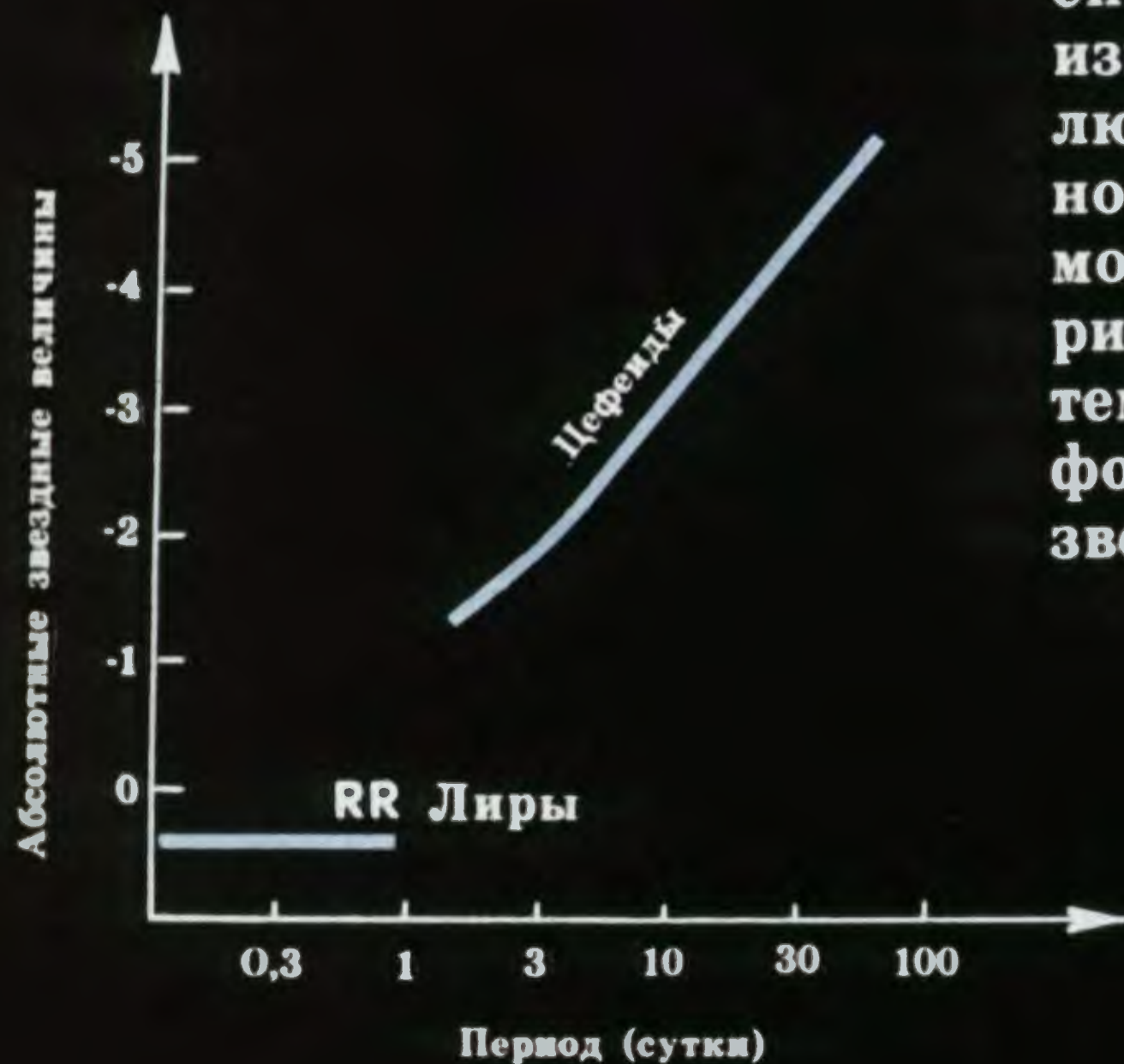
Расстояние в парсеках (пс) и световых годах (св. г.) до ближайших звезд ($1 \text{ пс} \approx 3,26 \text{ св. г.} \approx 3 \cdot 10^{13} \text{ км}$). Сейчас измерены годовичные параллаксы, а значит, и расстояния до нескольких тысяч звезд.

$$\lg D = \frac{m - M + 5}{5}$$

В основе другого метода определения расстояний до звезд—сравнение видимой (m) и абсолютной (M) звездной величины.

Новая звезда	Год вспышки	Абсолютная величина в максимуме
V 603 Орла	1918	-9,2
T Возничего	1891	-6,2
V 476 Лебедя	1920	-9,6
DQ Геркулеса	1934	-5,6
CP Ящерицы	1936	-9,3
GK Персея	1901	-8,5
RR Живописца	1925	-7,4
CP Кормы	1942	-9,1

Обычно абсолютную звездную величину находят из спектральных наблюдений, но в отдельных случаях ее удается оценить иначе. Например, известно, что в максимуме блеск многих новых звезд $M \approx -8^m$.



У пульсирующих звезд (цефеид и звезд типа RR Лир) существует зависимость между периодом изменения блеска и абсолютной звездной величиной. Определив с помощью наблюдений период, находят M , а затем по известной вам формуле и расстояние до звезды (D).



Необходимо знать расстояния не только до звезд, но и до туманностей. Они удалены от нас на десятки и сотни парсек, что затрудняет определение расстояний по годичному параллаксу.



Приходится использовать косвенные методы, вводя различные упрощающие предположения (например, равенство абсолютных звездных величин или равенство масс туманностей). [29]



Крабовидная туманность (созвездие Тельца) возникла в результате вспышки Сверхновой звезды в 1054 г. Зная линейное и угловое расширение, нашли, что туманность удалена от нас почти на 2000 пс.

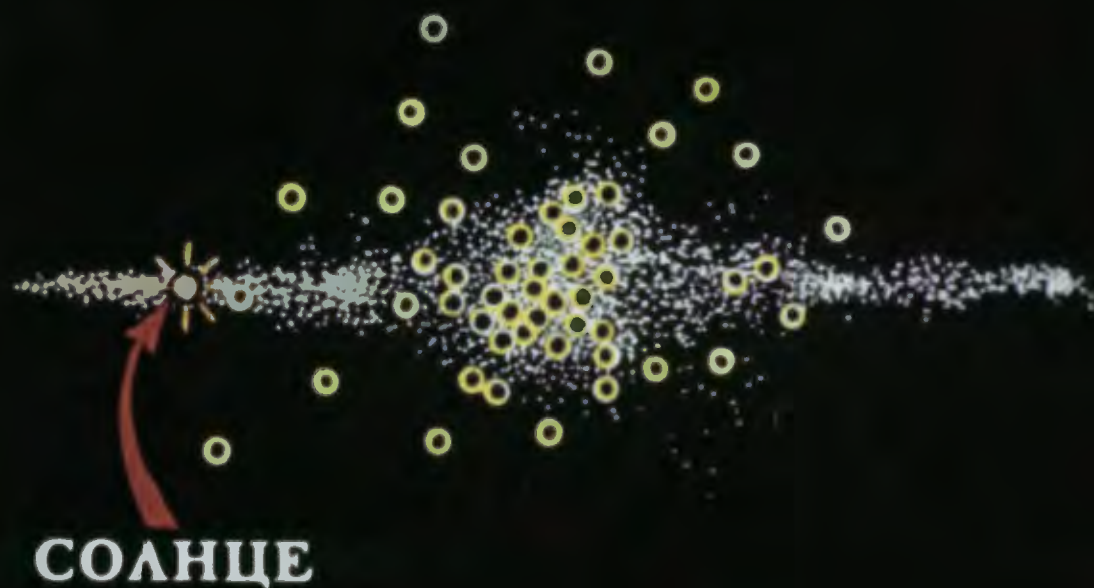
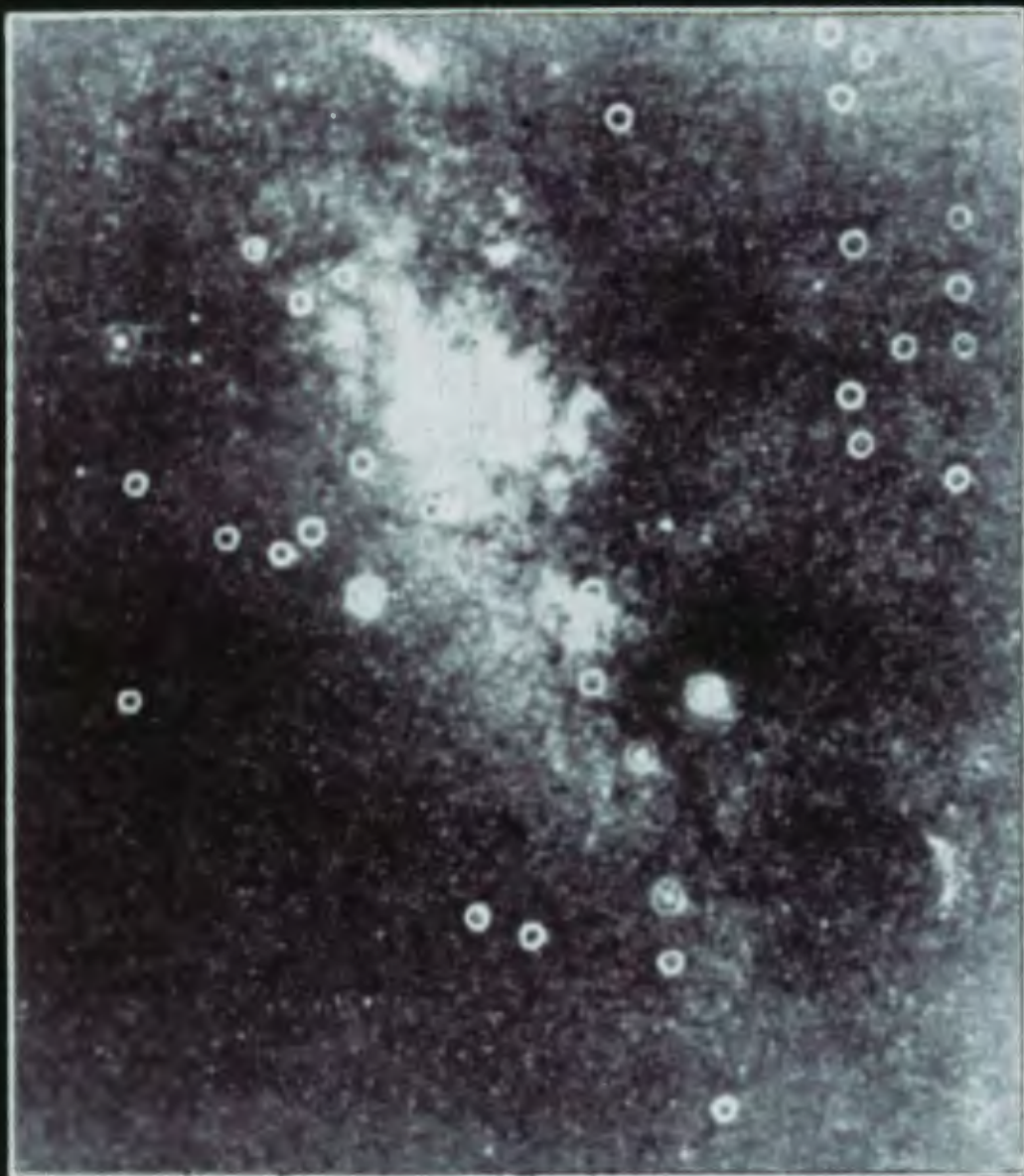


В созвездии Геркулеса расположено самое яркое в северном полушарии шаровое звездное скопление. Расстояние до него (около 8000 пс) определили, когда в скоплении были открыты звезды типа RR Лиры, абсолютные звездные величины которых известны.



В 1974 г. к этому скоплению направили «радиограмму», адресованную внеземной цивилизации, которая, быть может, там окажется. Когда при самых благоприятных условиях земляне получат ответ?

Радиотелескоп в Аресибо, с которого послана радиограмма.

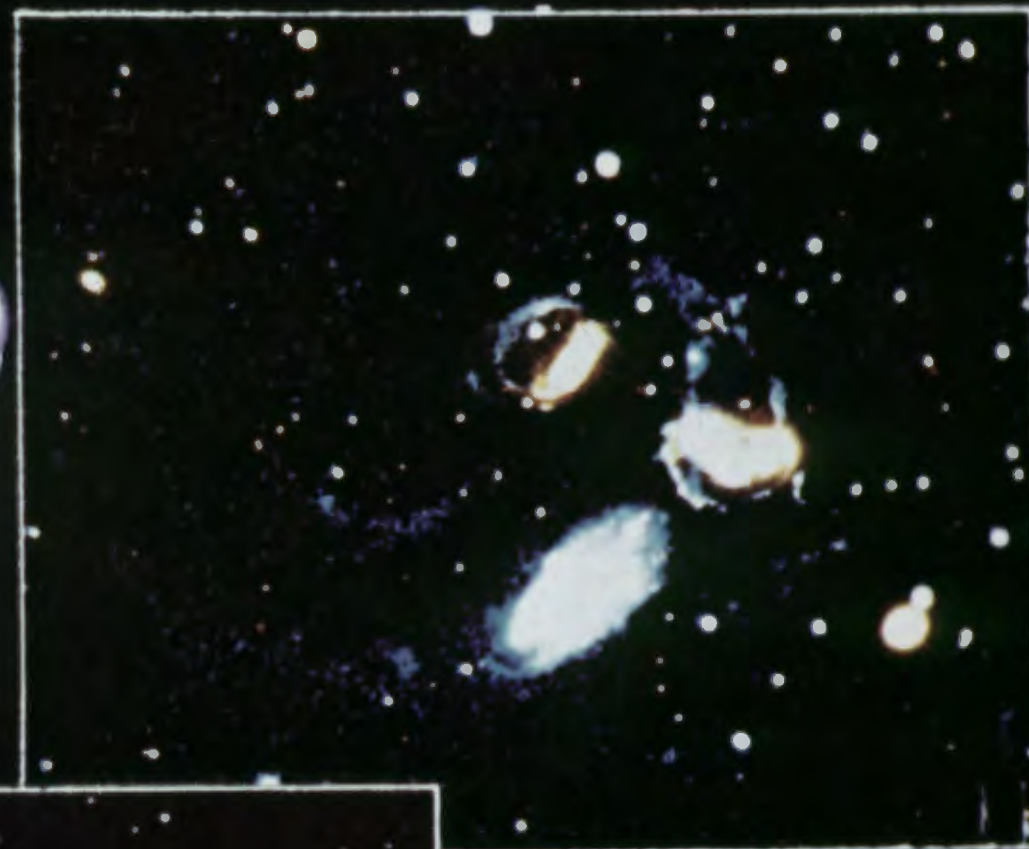


Шаровые скопления в Галактике

Шаровые скопления
в районе Стрельца
(центр Галактики).

Узнав расстояние до нескольких десятков шаровых скоплений и обнаружив, что они группируются в направлении центра Галактики, установили местоположение Солнца.

IV. ОПРЕДЕЛЕНИЕ
РАССТОЯНИЙ
ДО ГАЛАКТИК.





Есть ли объекты за пределами Галактики? На этот вопрос ответили положительно, открыв цефеиды и звезды типа RR Лиры в Магеллановых Облаках, расстояние до которых оказалось 46 000 пс и 53 000 пс.

Большое и Малое Магеллановы Облака .



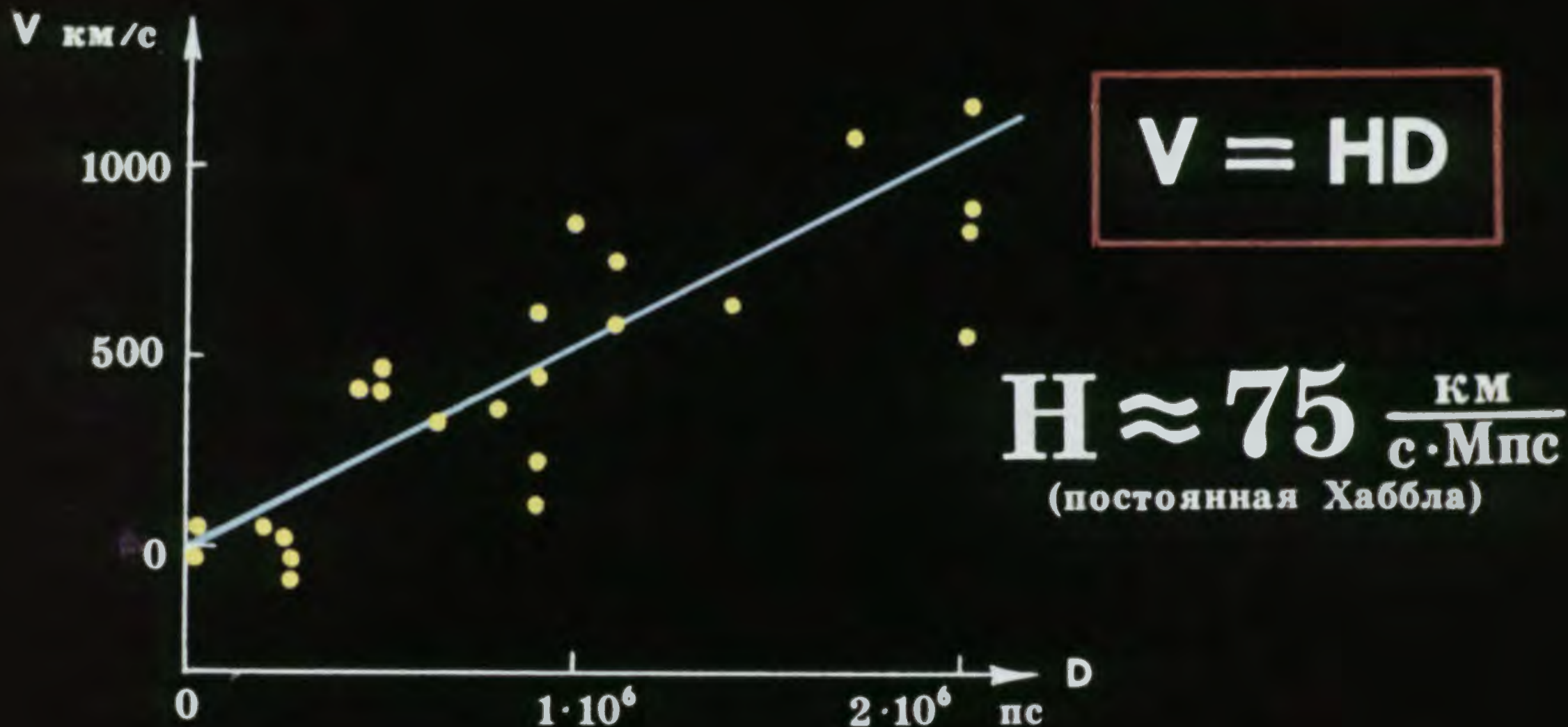
**Галактика
в Андромеде.**

Цефеиды и Новые звезды помогли определить расстояния и до других ближайших к нам галактик, прежде всего до галактики в созвездии Андромеды (651 000 пс). Сколько времени свет идет к нам от этой галактики?



Открытие Сверхновой звезды в одной из галактик.

Ежегодно открывают около десятка Сверхновых звезд. В максимуме блеск многих из них достигает $M \approx -15^m$. Это позволяет определить расстояние до галактик, в которых другие звезды раздельно не видны.



Лучевые скорости галактик пропорциональны расстояниям (закон Хаббла). Основываясь на этом, определили расстояние до многих галактик.

Галактики в созвездиях

Расстояния
в св. г.

Синий
конец
спектра

Красный
конец
спектра



Б. Медведицы

490 000 000



15 000 км/с



Северной
Короны

700 000 000



21 500 км/с



Волопаса

1 300 000 000



39 300 км/с



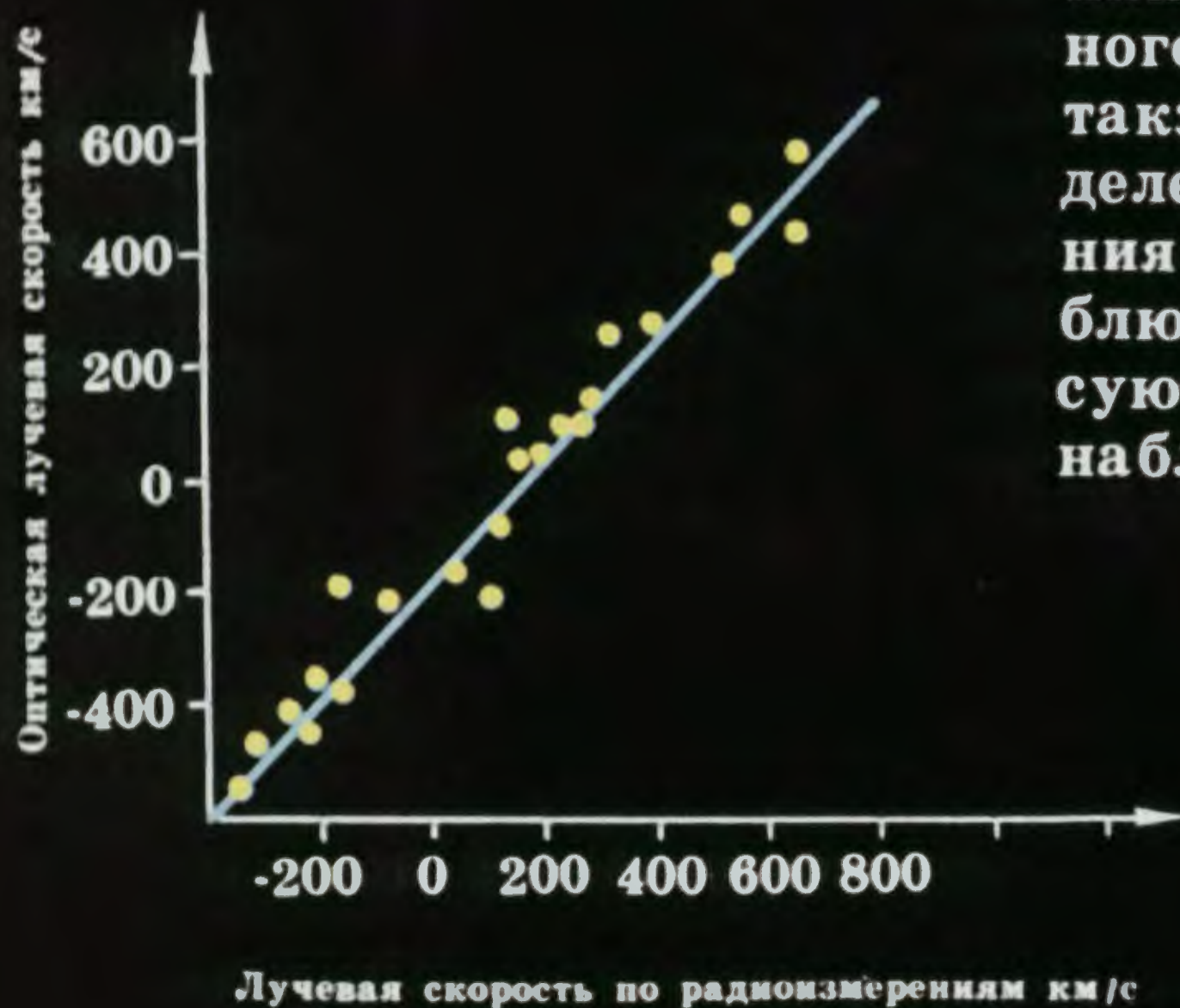
Гидры

1 980 000 000



60 900 км/с

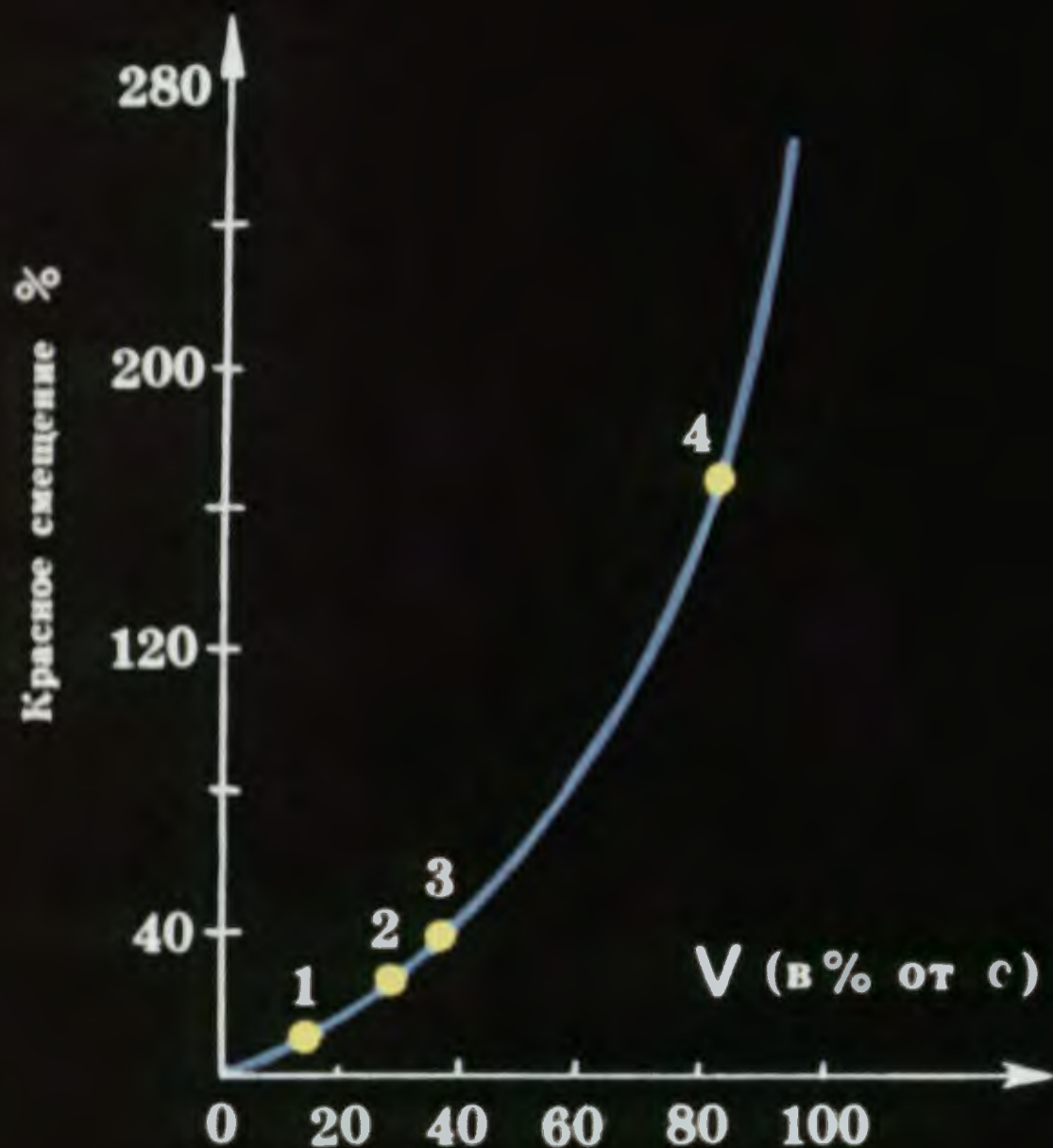
Чтобы найти луче-
вые скорости, изме-
ряют красные сме-
щения $z = \frac{\Delta \lambda}{\lambda}$ в
спектрах галактик
($v = \frac{c \Delta \lambda}{\lambda}$), ис-
пользуя эффект Доп-
лера. (В чем он за-
ключается?)



Красное смещение наблюдается и в радиодиапазоне. По смещению линий излучения нейтрального водорода ($\lambda=21$ см) также могут быть определены скорости удаления галактик. Радионаблюдения хорошо согласуются с оптическими наблюдениями.

$$V = cZ$$

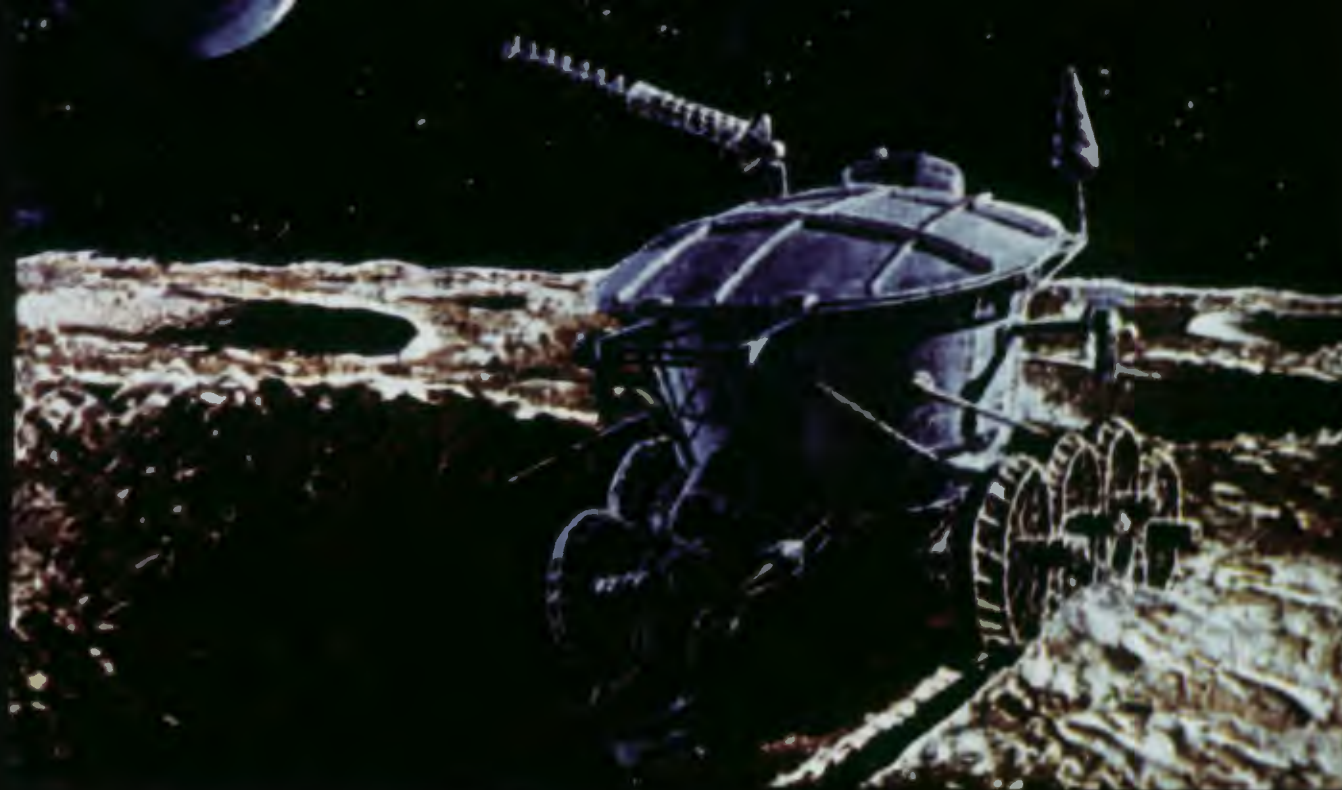
Еще раз обратимся к формуле, в которой V —лучевая скорость галактики, z —красное смещение, c —скорость света. Применима ли эта формула к случаям, когда $z > 1$?



$$V = c \frac{(1+Z)^2 - 1}{(1+Z)^2 + 1}$$

Уже при $Z > 0,2$ (далекие галактики, квазары) обнаруживаются заметные отклонения от закона Хаббла. Поэтому для вычисления лучевых скоростей приходится пользоваться точной формулой, справедливой для любых Z . (Проверьте).

КОНЕЦ



Диафильм сделан по программе,
утвержденной Министерством
просвещения СССР

Автор кандидат
педагогических наук

Е. Левитан

Художник-оформитель

Н. Дунаева

Редактор

В. Чернина

© Студия «Диафильм» Госкино СССР, 1980 г.
101 000, Москва, Центр, Старосадский пер., 7
Д-194-80 Цветной 0-30