

VI 1976

5

6

6

TY 19 — 32 — 73

8

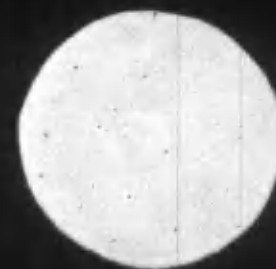
4

ДИАФОНІЛЬМ

07—2—429

По заказу Министерства просвещения РСФСР

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ
РАССТОЯНИЙ
ДО
НЕБЕСНЫХ ТЕЛ**

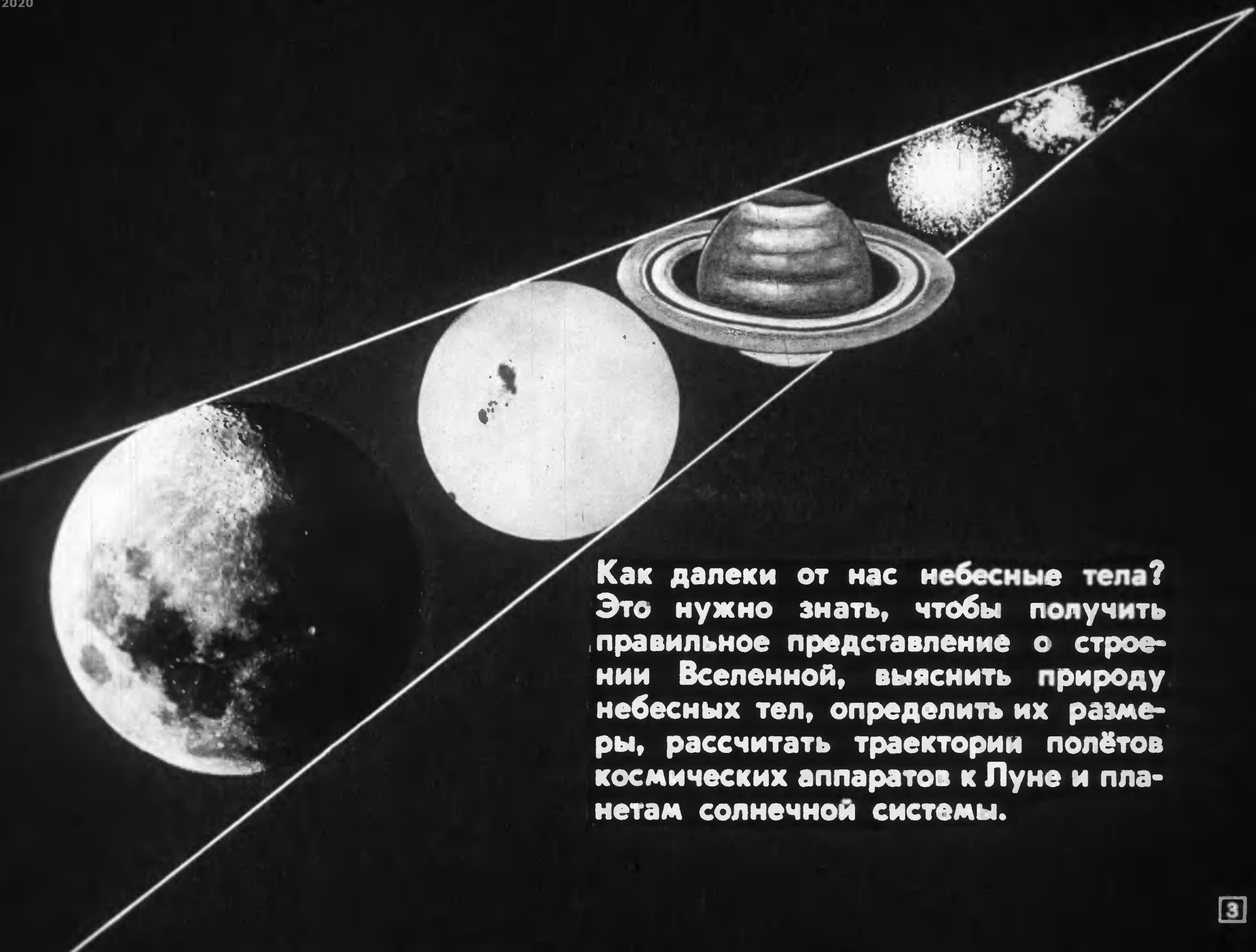


Диафильм по астрономии для 10 класса

К СВЕДЕНИЮ УЧИТЕЛЯ.

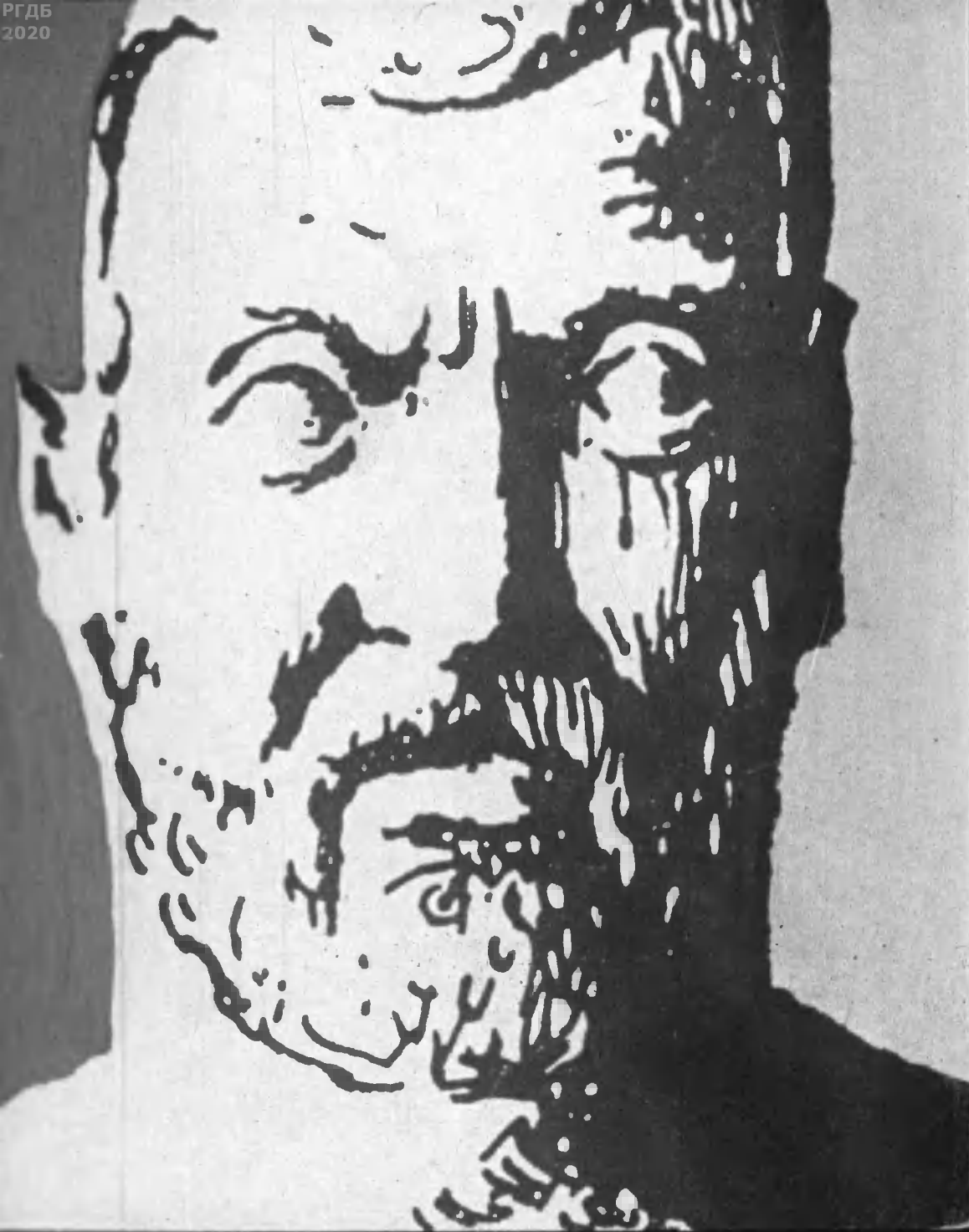
Целесообразно приурочить демонстрацию отдельных фрагментов диафильма к соответствующим темам курса.

Следует обратить внимание на то, как по мере определения расстояний до небесных тел неуклонно совершенствовались методы исследований, одни и те же задачи решались разными методами и приводили к сходным результатам.



Как далеки от нас небесные тела? Это нужно знать, чтобы получить правильное представление о строении Вселенной, выяснить природу небесных тел, определить их размеры, рассчитать траектории полётов космических аппаратов к Луне и планетам солнечной системы.

I
ПЕРВЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
РАССТОЯНИЙ ДО ЛУНЫ,
СОЛНЦА, ПЛАНЕТ



Ещё 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.



Во время лунного затмения древние астрономы сравнивали угловой диаметр земной тени с известными угловыми диаметрами Солнца и Луны. Было установлено, что расстояние до Луны примерно равно 30 диаметрам Земли. Этот результат близок к современным данным.



Во время первой (или последней) четверти Луны древним удалось очень грубо измерить угол между Луной и Солнцем и с громадной ошибкой вычислить расстояние от Земли до Солнца.



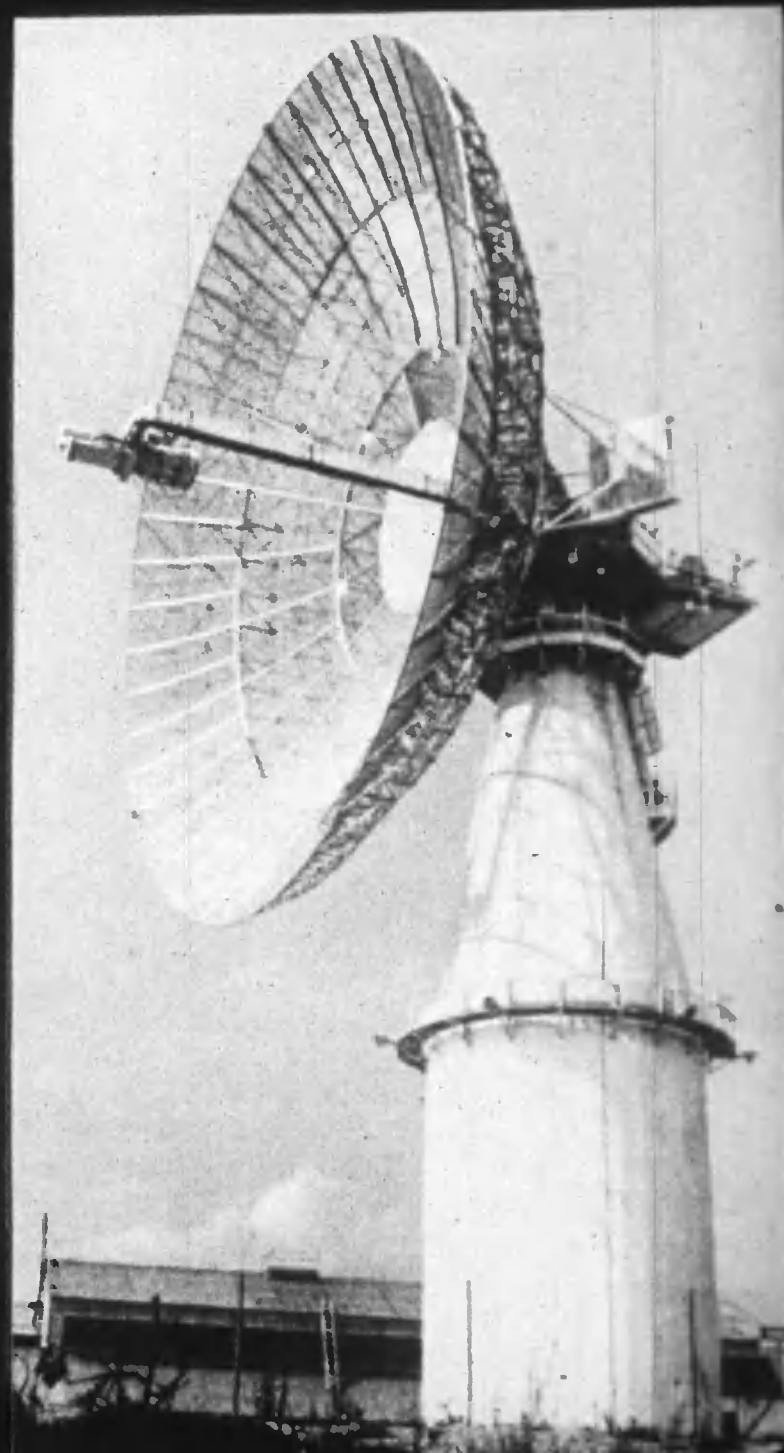
$$\frac{CB}{ЗС} = \sin \angle CЗВ = \sin 46^\circ = 0,72$$

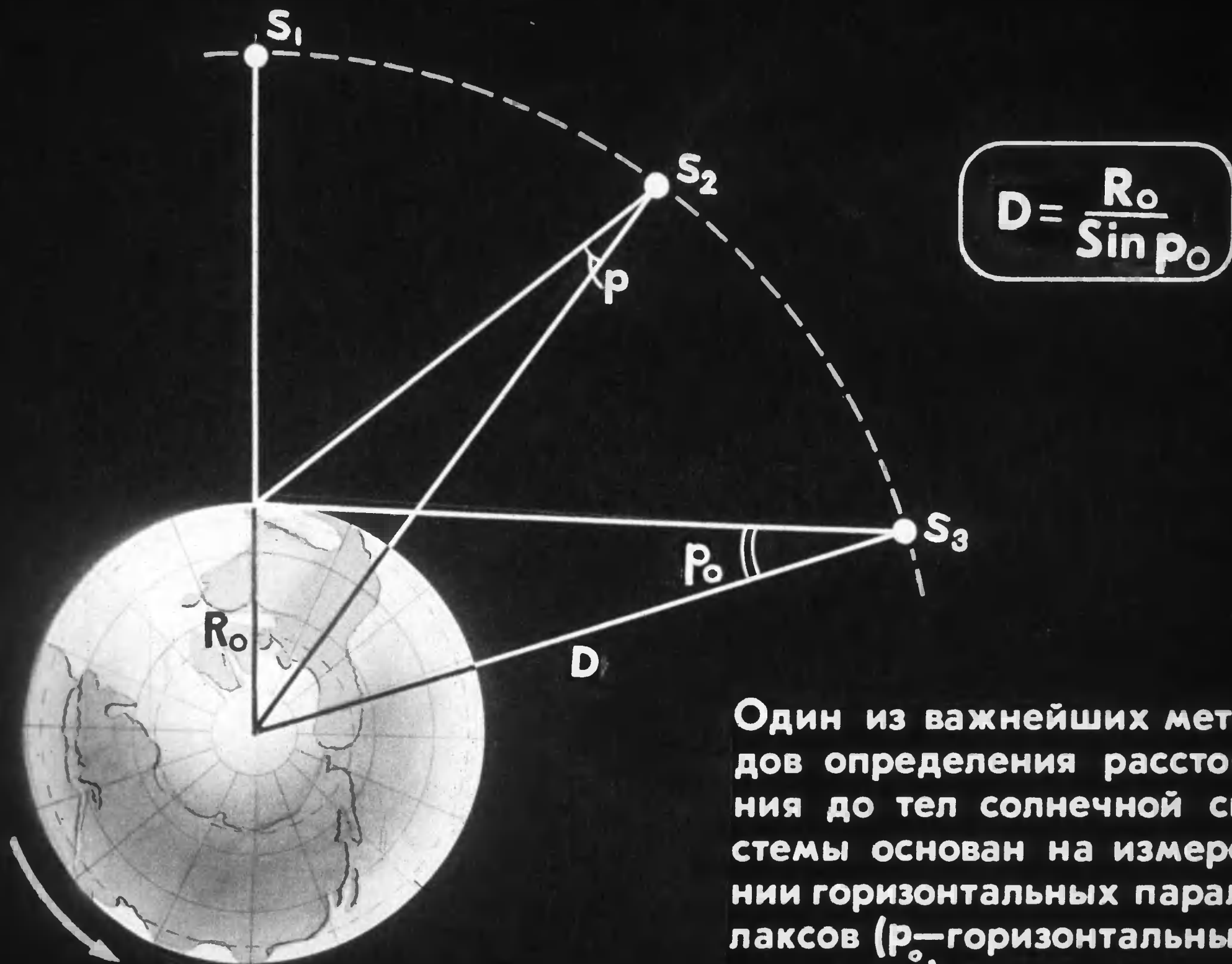
В XVI в. простой способ определения относительных расстояний планет от Солнца (расстояние от Земли до Солнца принимается за единицу) предложил Николай Коперник. Чертёж поясняет его метод.



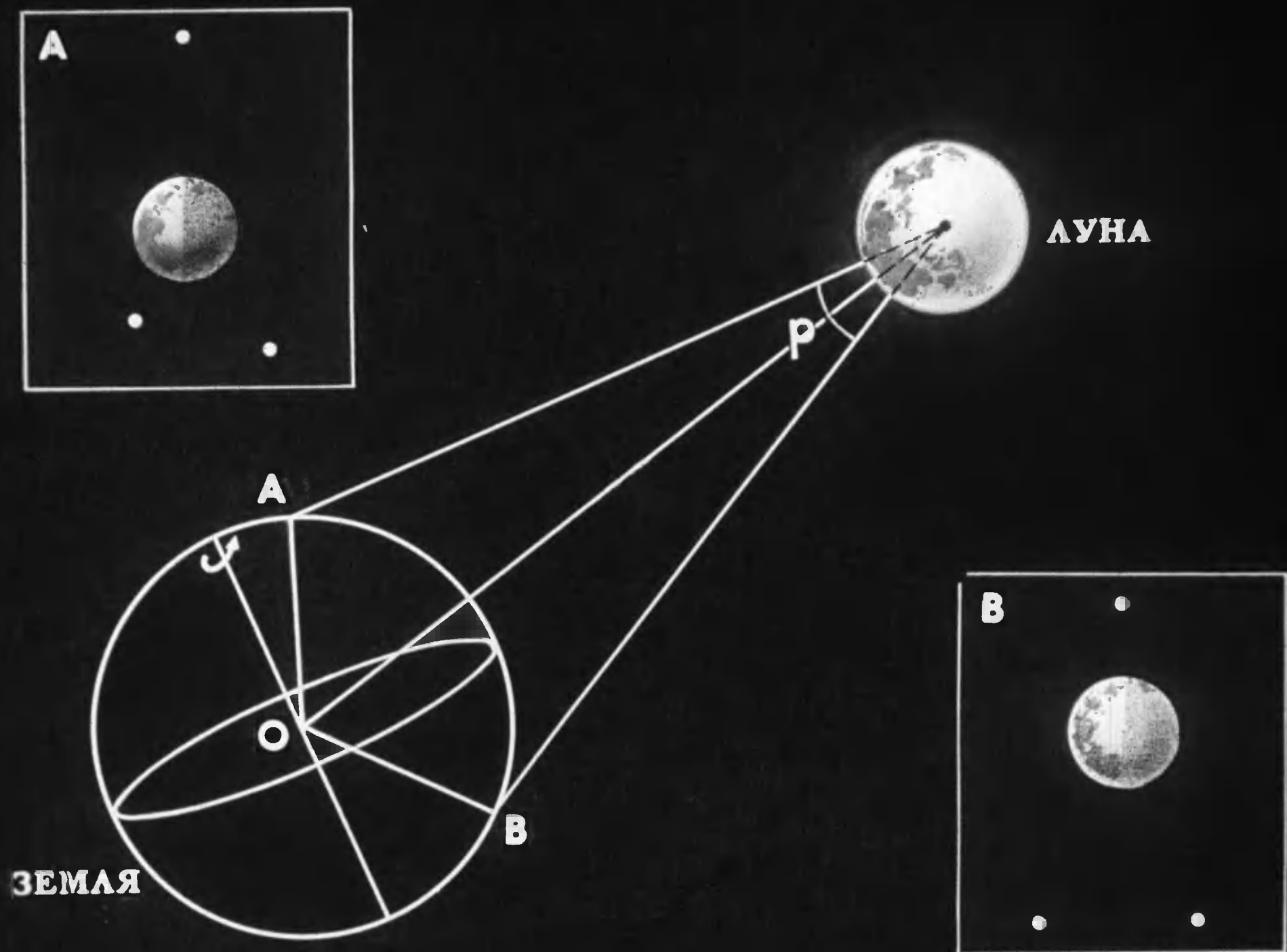
II

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАССТОЯНИЙ ДО ТЕЛ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

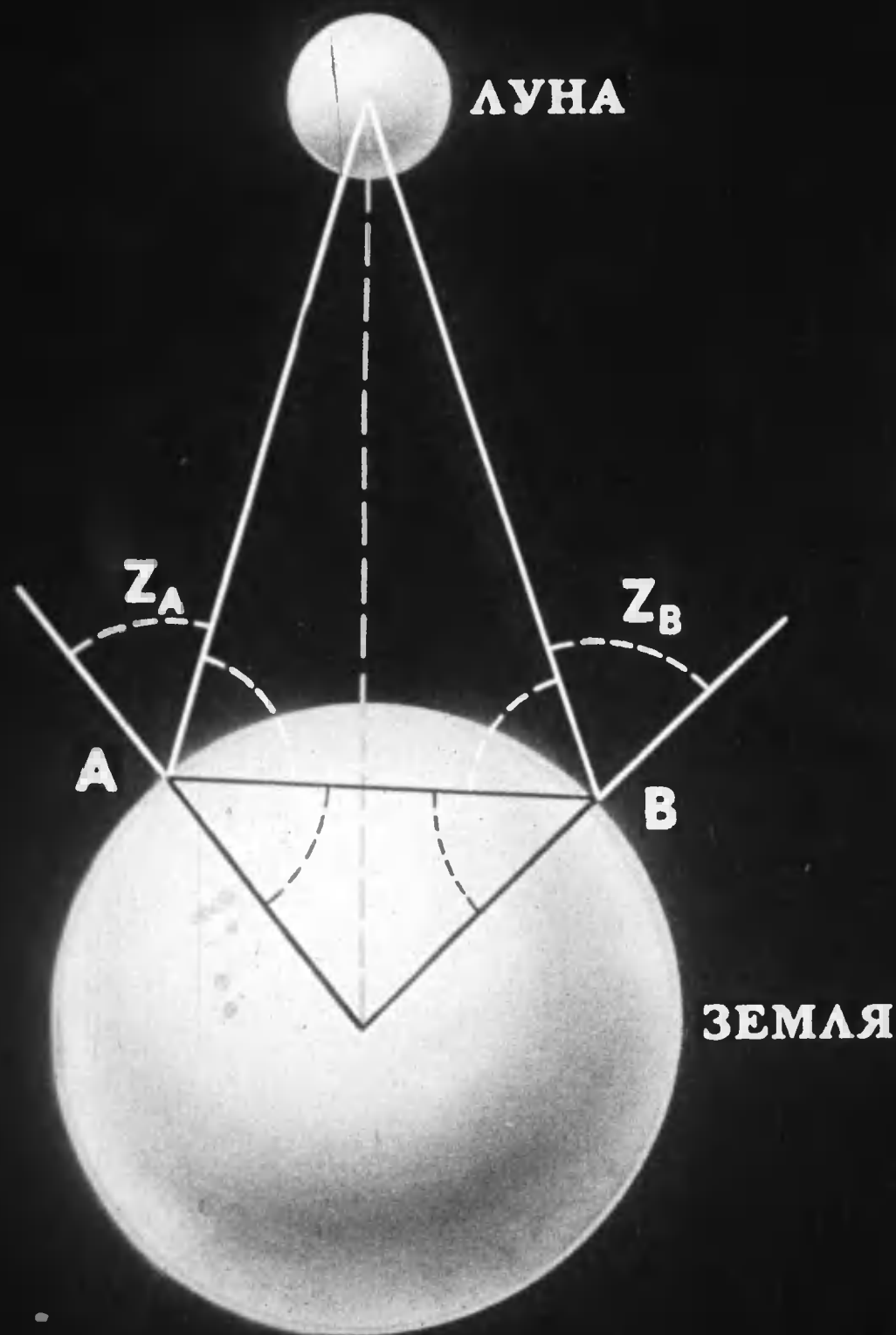




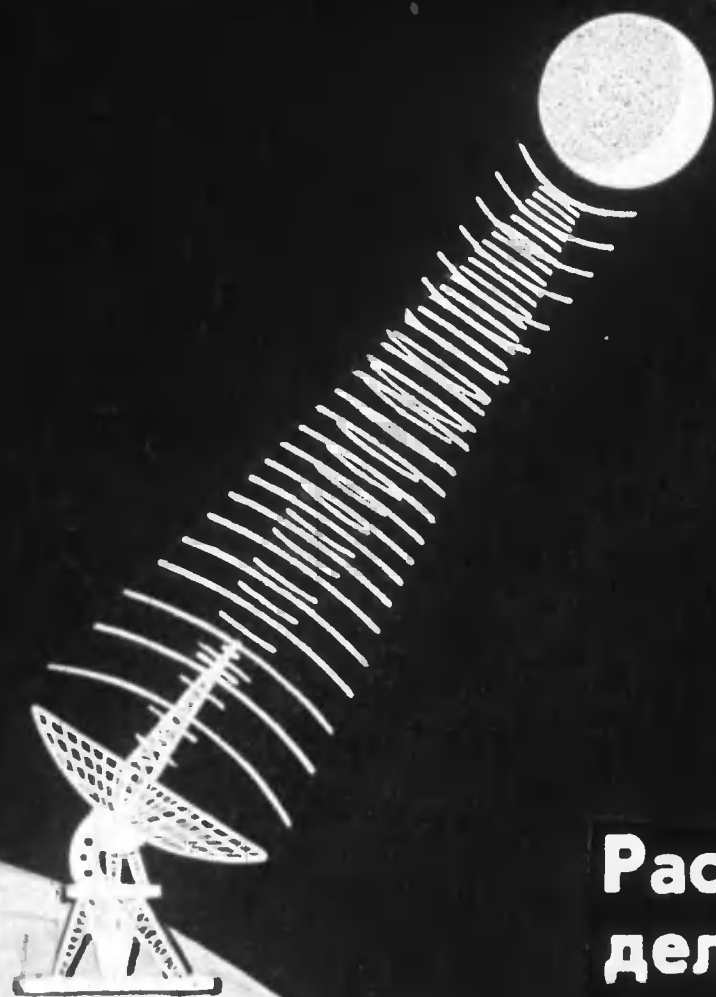
Один из важнейших методов определения расстояния до тел солнечной системы основан на измерении горизонтальных параллаксов (p_0 —горизонтальный параллакс).



Если одновременно наблюдать Луну из двух обсерваторий А и В, то из-за параллактического смещения расположение её по отношению к звёздам будет различным.



Зная географические широты пунктов наблюдения и зенитные расстояния Луны в момент наблюдения, можно вычислить горизонтальный параллакс Луны ($P_c \approx 57',5$) и расстояние до неё.



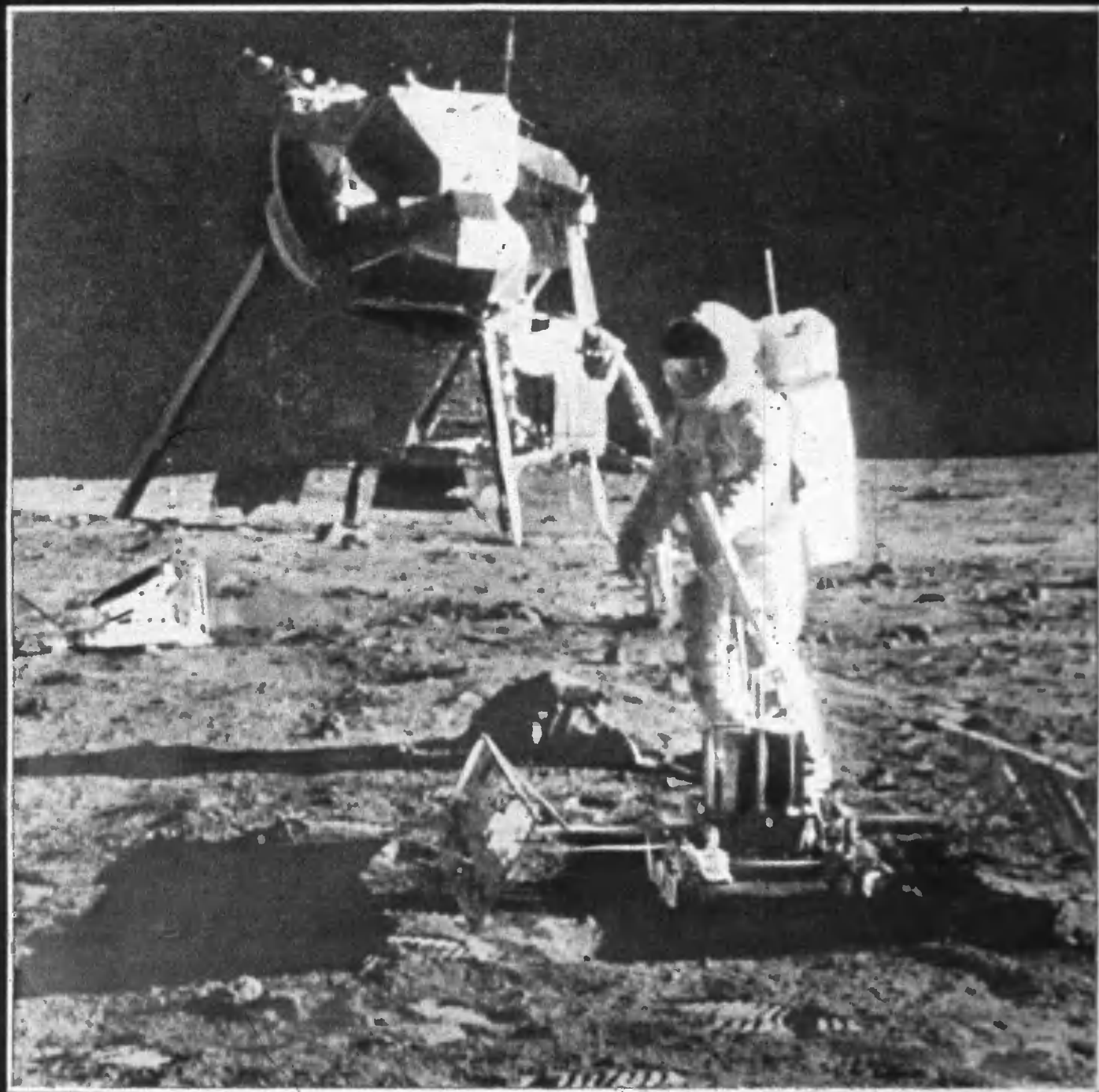
$$D = \frac{ct}{2}$$

Расстояние до Луны можно определить также методом радиолокации. Радиоволны, имеющие скорость $c = (299792,5 \pm 0,4)$ км/сек, преодолевают путь до Луны и обратно примерно за время $t = 2,56$ сек.



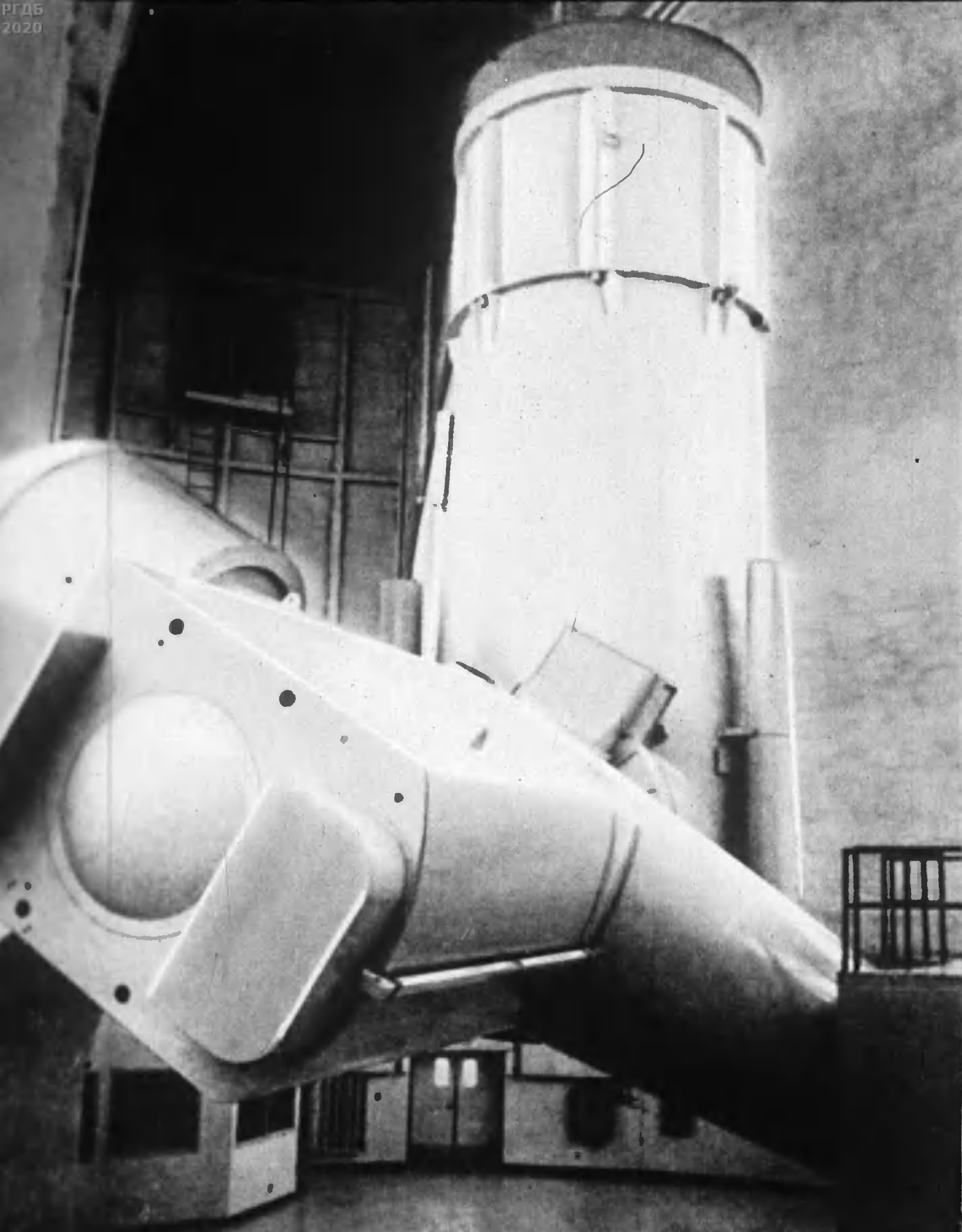
Вследствие эллиптичности лунной орбиты расстояние от Земли до Луны меняется примерно от 365 000 км в перигее до 407 000 км в апогее. Среднее расстояние от Земли до Луны 384 400 км.

Новейшие определения расстояния между точками на Земле и Луне основаны на данных лазерного эксперимента. Космонавты, побывавшие на Луне в 1969 г., установили там отражатель лазерных лучей (на фото—слева).





Этот прибор состоит из 100 маленьких призм, укреплённых в нишах на общей раме.

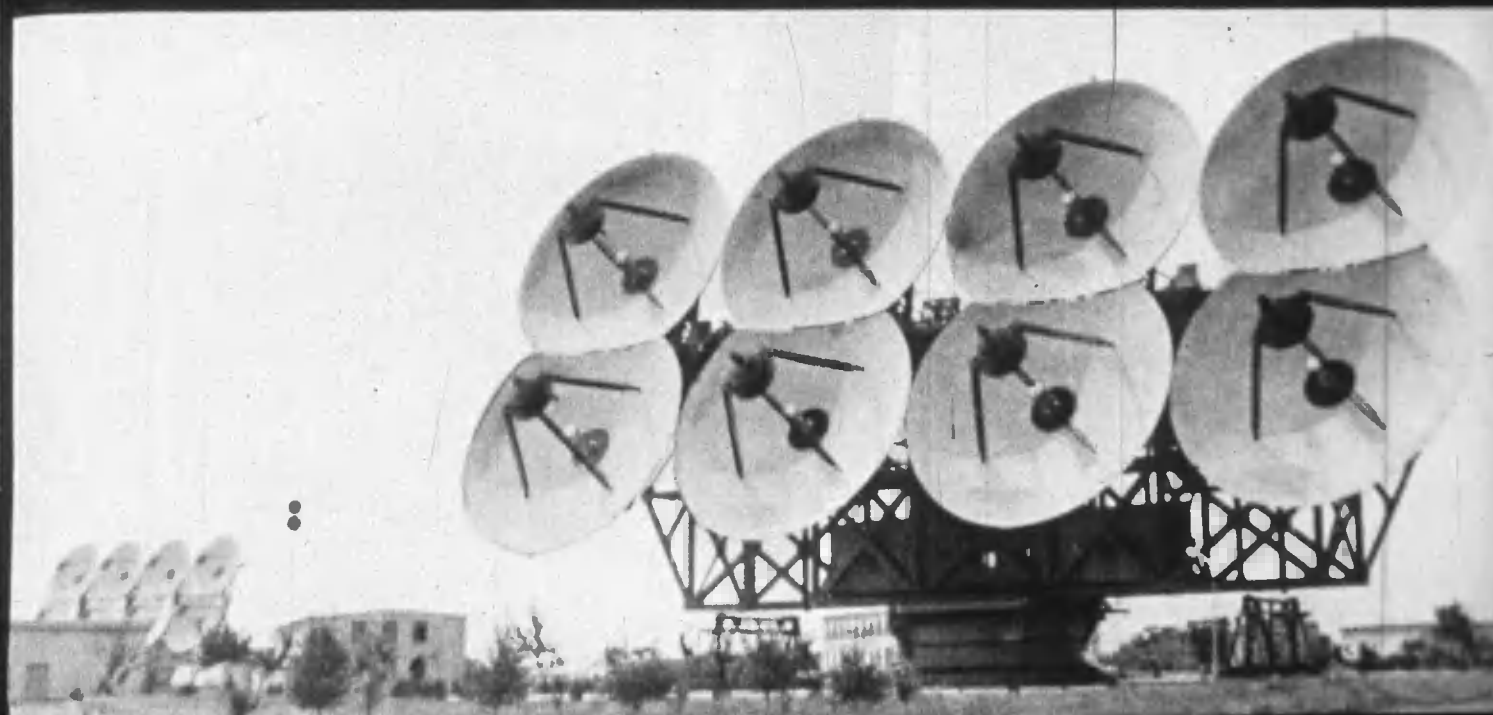


**На Земле удалось
принять ответный
сигнал и с точно-
стью до десятков
сантиметров опре-
делить расстояние
между лазерным от-
ражателем и назем-
ным телескопом.**

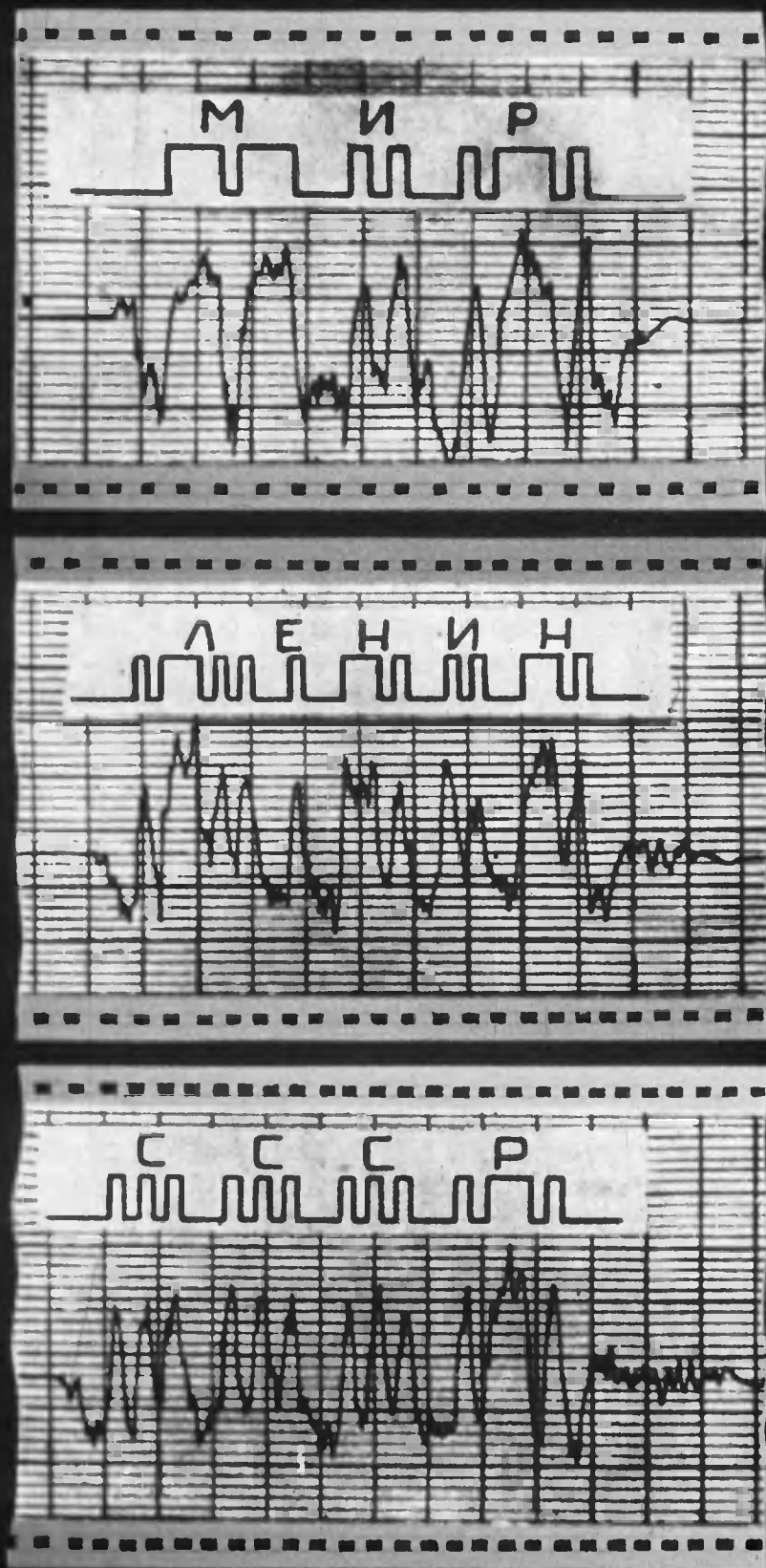
**2,7-метровый теле-
скоп-рефлектор, ко-
торый использовал-
ся в лазерном экс-
перименте.**



Начиная с 1961 г., успешные эксперименты по радиолокации Венеры, Меркурия, Марса и других планет проводились в СССР, США, Англии. Для этого потребовалась чувствительность систем в 10 млн. раз бо́льшая, чем для радиолокации Луны.



Антенна Центра дальней космической связи (СССР).

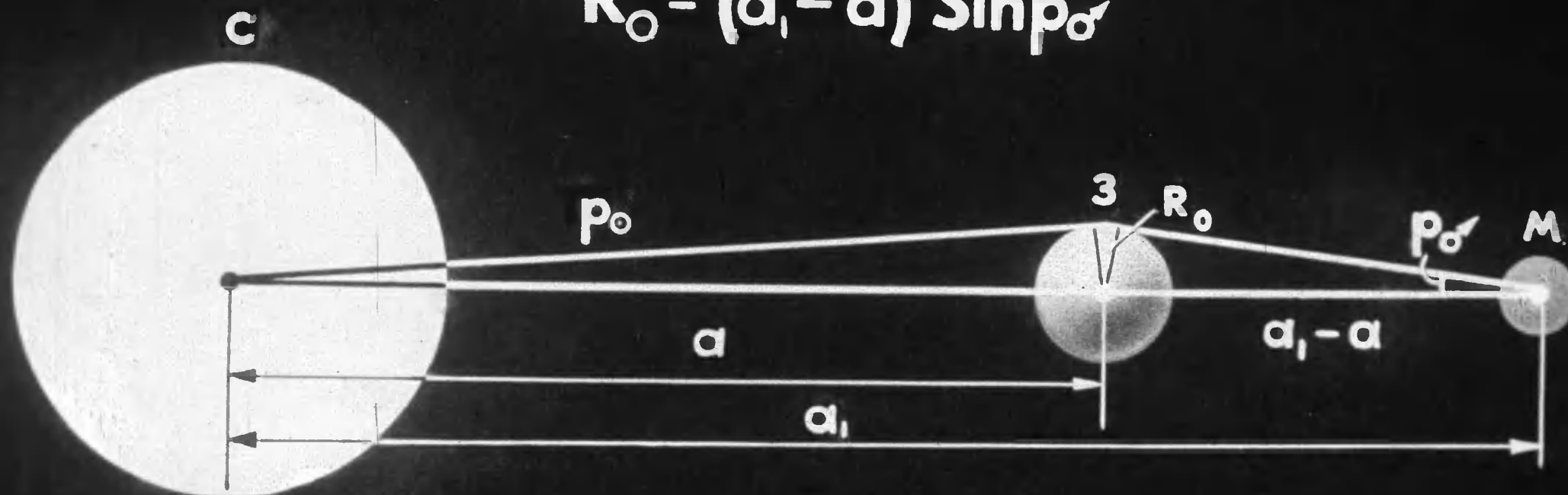


В ноябре 1963 г. советские учёные во главе с академиком В. А. Котельниковым осуществили первую радиосвязь через планету Венера.

Перед вами осциллограммы телеграфных сигналов, отражённых от поверхности Венеры: вверху переданные азбукой Морзе слова: мир, Ленин, СССР, внизу—запись отражённых сигналов.

$$R_{\odot} = a \sin p_{\odot}$$

$$R_{\odot} = (a_1 - a) \sin p_{\sigma}$$

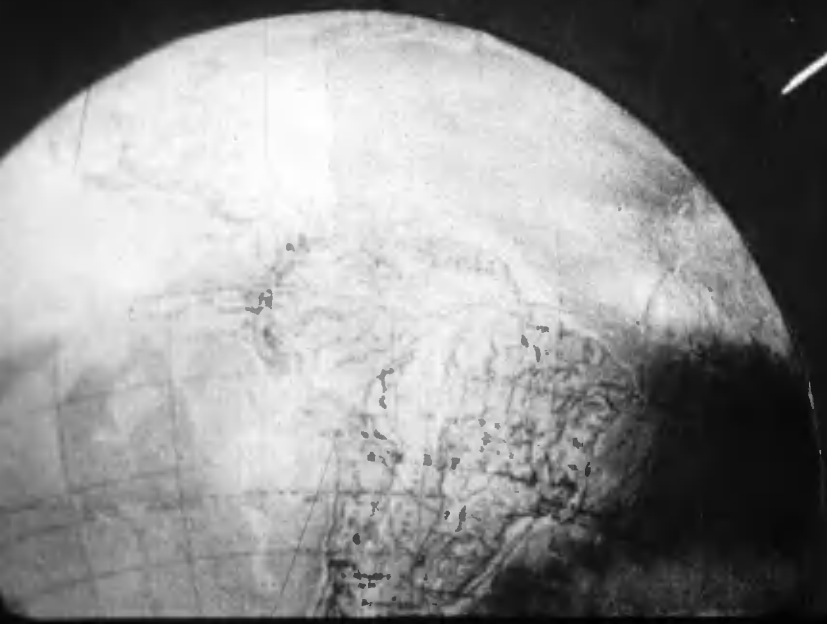


Параллакс Солнца ($p_{\odot}$) определён многими методами. Один из них основан на наблюдении Марса в моменты великих противостояний. Зная горизонтальный параллакс Марса ($p_{\sigma} = 23'',6$) и вычисляя по III закону Кеплера $\frac{a_1}{a}$, находят $p_{\odot}$.

$$\rho_{\odot} = 8'', 7940$$

$$1 \text{ а. е.} = 149\,600\,000 \text{ км}$$

Эти значения $\rho_{\odot}$ и 1 а. е. (астрономической единицы), полученные из радиолокационных наблюдений планет, используются с 1970 г. во всех астрономических вычислениях.



ЗЕМЛЯ



III

РАССТОЯНИЯ ДО ЗВЁЗД, ТУМАННОСТЕЙ И ЗВЁЗДНЫХ СКОПЛЕНИЙ

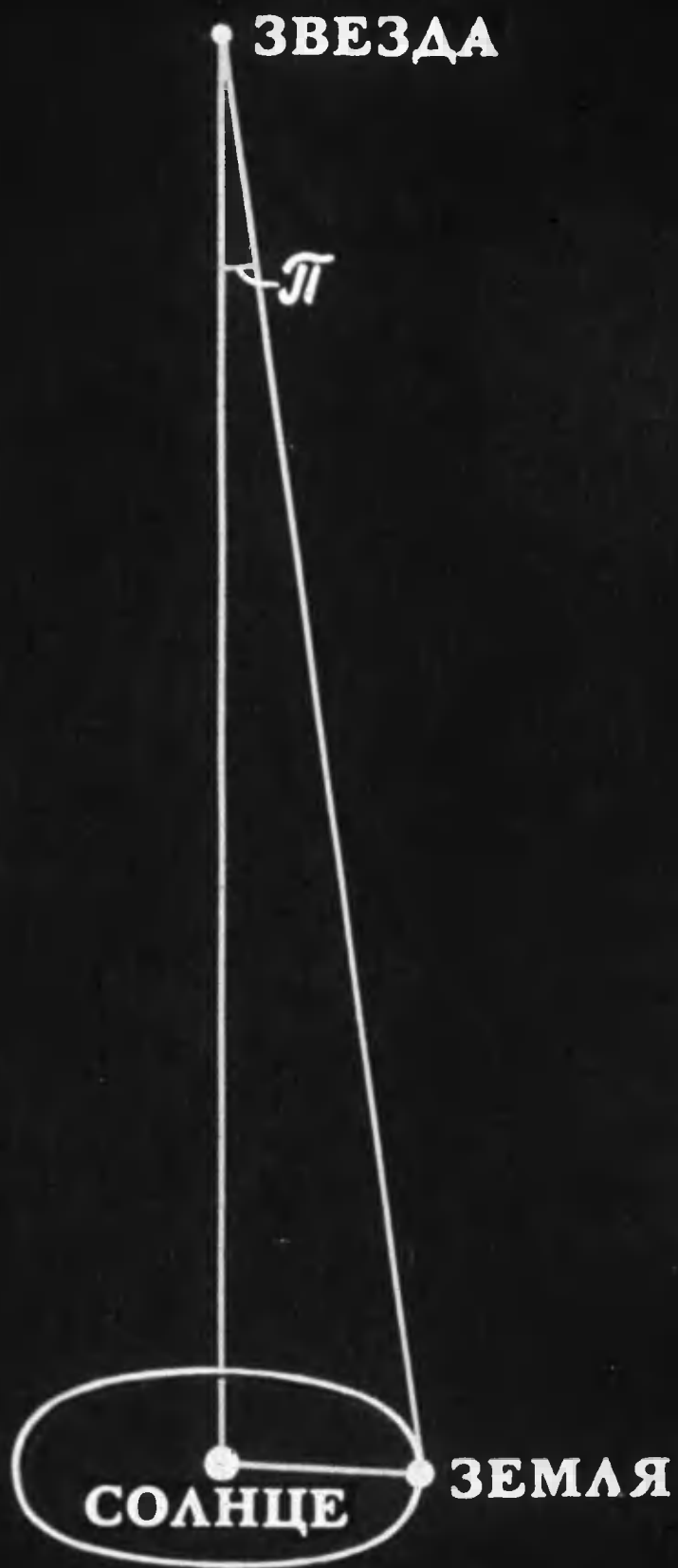


$$D = \frac{a}{\sin \pi}$$

Тригонометрические, или годовые параллаксы ближайших звёзд удалось определить, взяв в качестве базиса радиус орбиты Земли (a).



Звёзды 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 трёх звёзд.



Этот чертёж условно изображает
годовой параллакс Веги. Но
соотношение углов и расстояний
на рисунке не выдержано: для
наглядности угол пришлось уве-
личить в 100 000 раз.

**РАССТОЯНИЯ В СВЕТОВЫХ ГОДАХ (СВ. Г.)
И ПАРСЕКАХ (ПС)
ДО НЕСКОЛЬКИХ БЛИЖАЙШИХ К НАМ ЗВЁЗД
(1 ПС = 3,26 СВ. Г. $\approx 3 \cdot 10^{13}$ КМ)**

Звезда	Расстояние	
	световые годы	парсек
АЛЬФА ЦЕНТАВРА	4,3	1,3
ЗВЕЗДА БАРНАРДА	5,9	1,8
ВОЛЬФ 359	7,7	2,4
СИРИУС	8,7	2,7
61 ЛЕБЕДЯ	11,1	3,4
ПРОЦИОН	11,3	3,5
ЗВЕЗДА КАПТЕЙНА	12,7	3,9
АЛЬТАИР	15,7	4,8

**Сейчас измерены тригонометрические параллаксы, а значит,
и расстояния 6000 звёзд.**

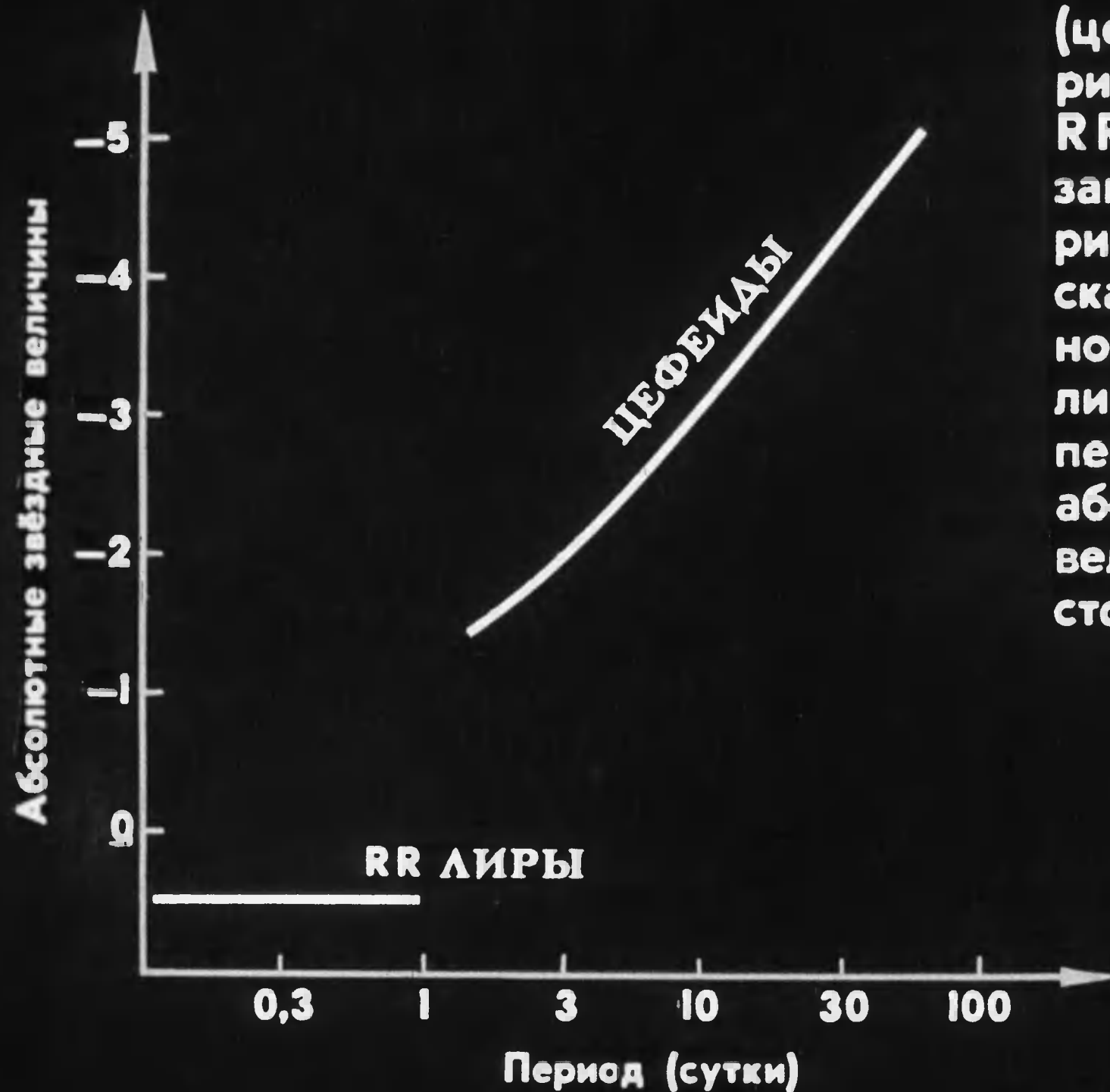
Очень важный метод определения расстояний до звёзд заключается в сравнении видимой (m) и определяемой по спектру абсолютной (M) звёздной величины.

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

При вычислениях нужно учитывать межзвёздное поглощение, ослабляющее блеск звёзд.

Новая звезда	Год вспышки	Абсолютная величина в максимуме
V 603 ОРАА	1918	9,2
T ВОЗНИЧЕГО	1891	6,2
V 476 ЛЕБЕДЯ	1920	9,6
DQ ГЕРКУЛЕСА	1934	5,6
CP ЯЩЕРИЦА	1936	9,3
GK ПЕРСЕЯ	1901	8,5
RR ЖИВОПИСЦА	1925	7,4
CP КОРМЫ	1942	9,1

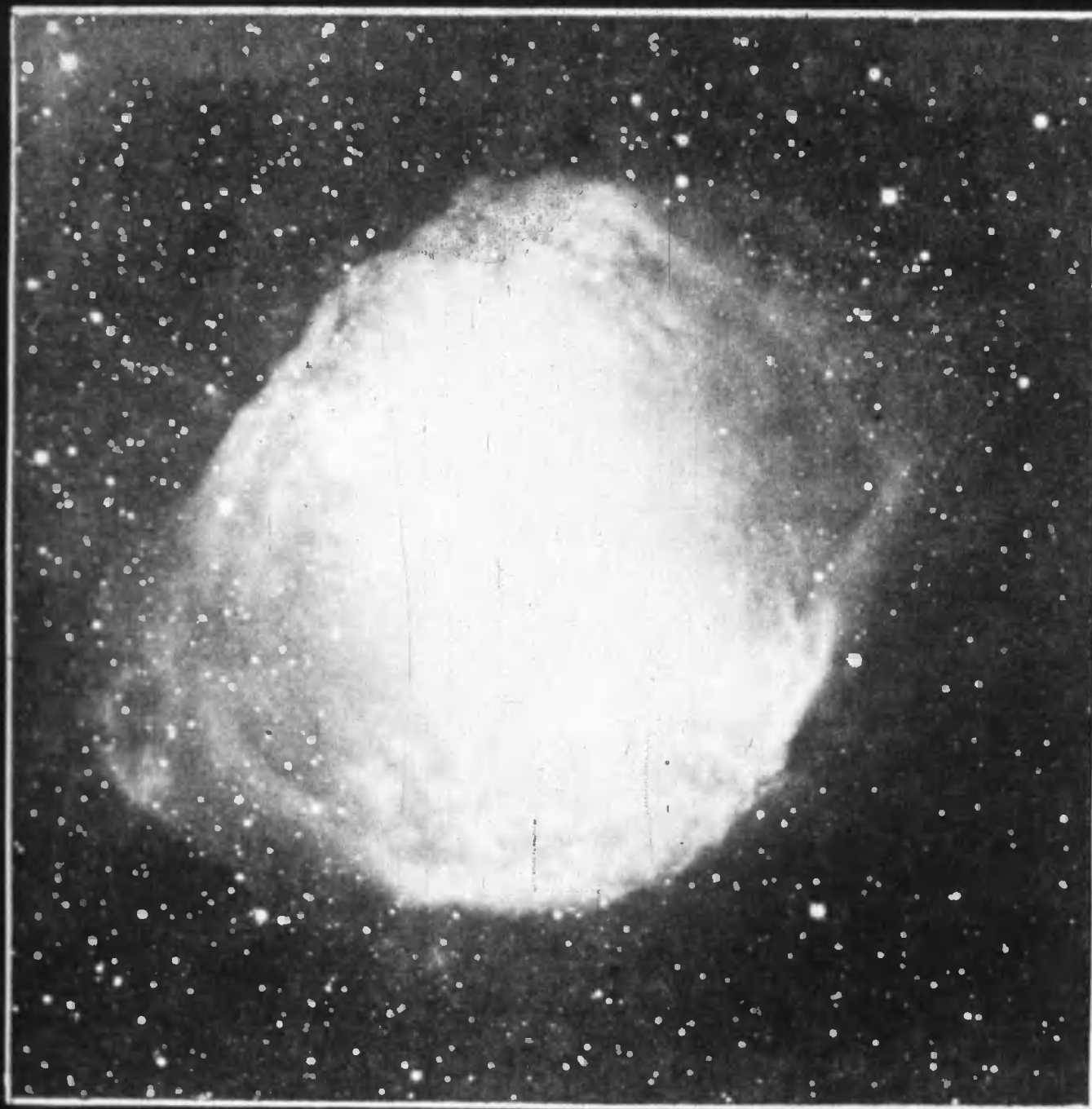
В отдельных случаях довольно легко оценить абсолютные звёздные величины, например в максимуме блеска у многих новых звёзд $M \approx -8^m$.



У пульсирующих звёзд (цефеид и короткопериодических звёзд типа RR Лиры) существует зависимость между периодом изменения блеска и абсолютной звёздной величиной. Определив путём наблюдений период, можно найти абсолютную звёздную величину, а затем и расстояние до звезды.



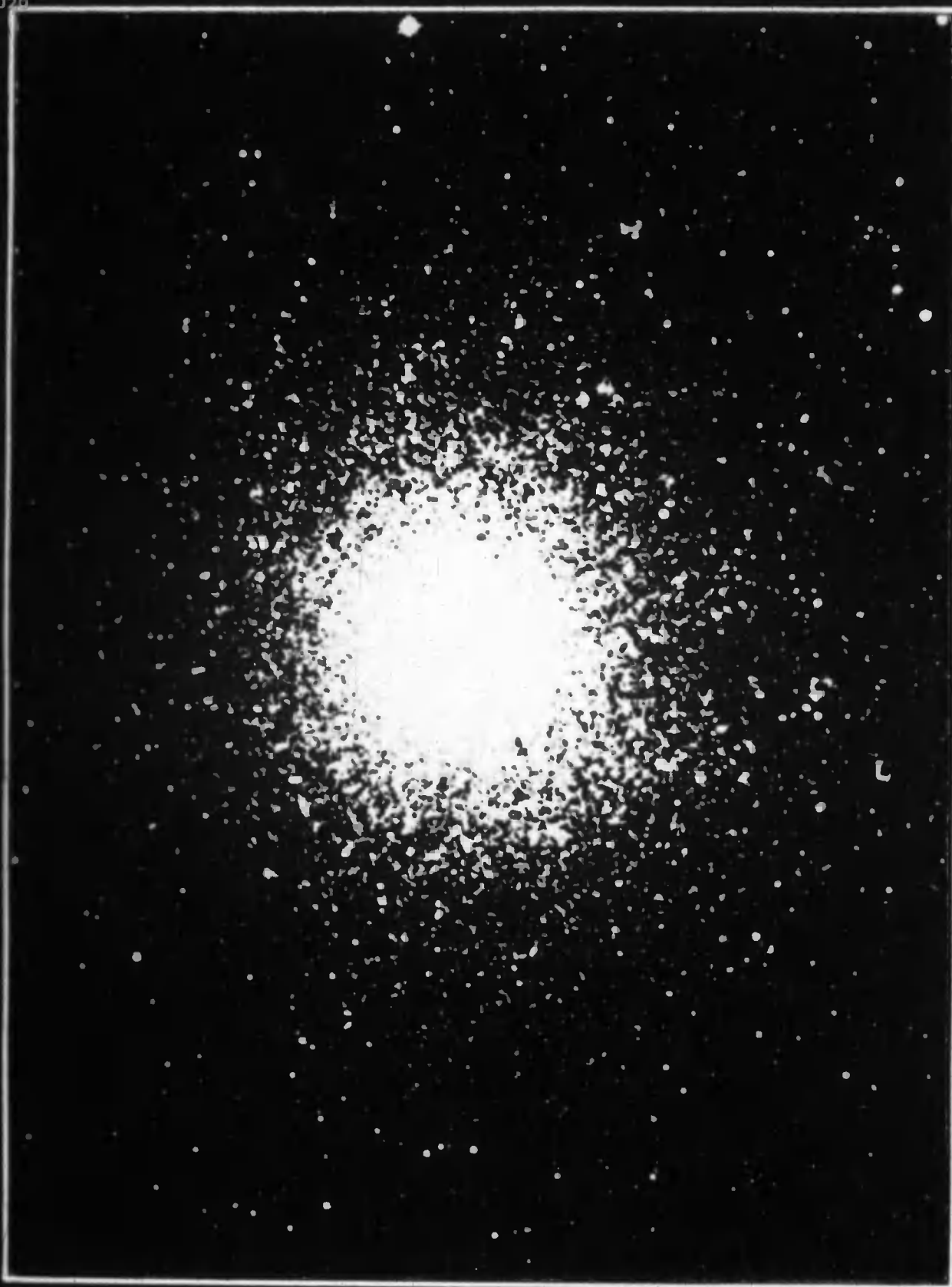
Необходимо знать расстояния не только до звёзд, но и до туманностей и звёздных скоплений. Это — гигантская планетарная туманность Улитка в созвездии Водолея. Только до неё удалось определить расстояние (26 пс) по тригонометрическому параллаксу.



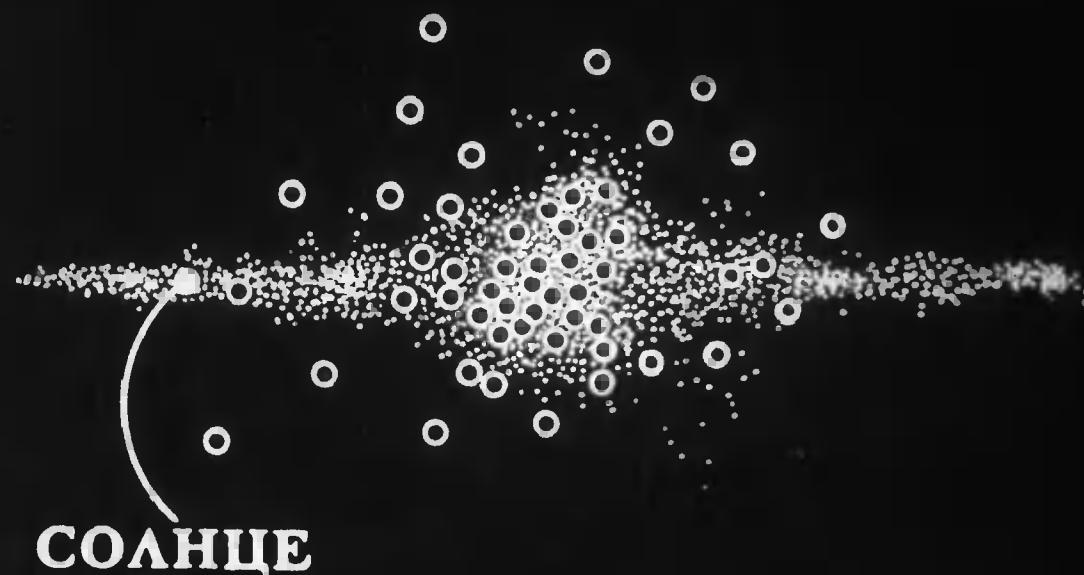
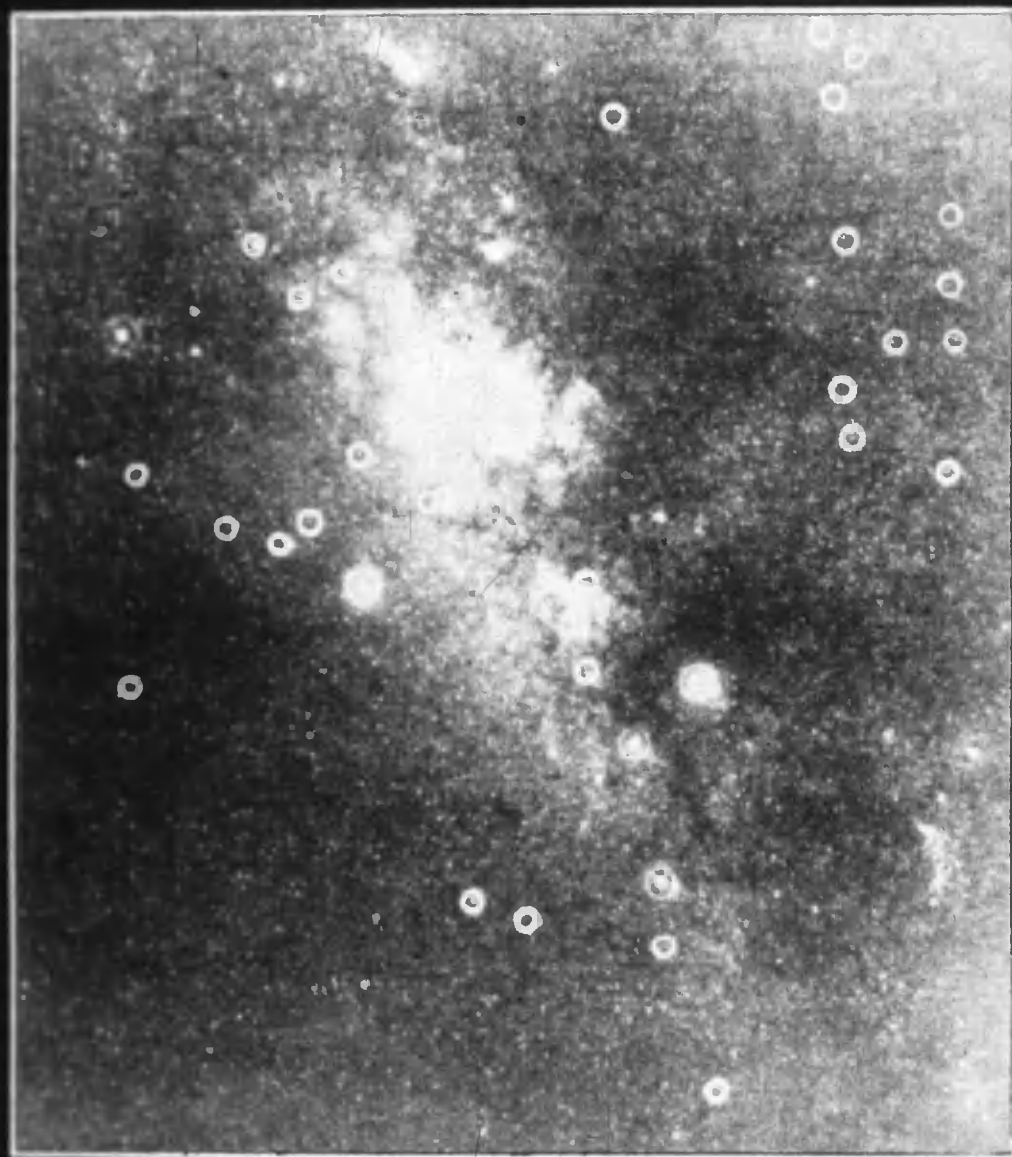
Расстояния до других планетарных туманностей определяют косвенными методами, вводя различные упрощающие предположения (например равенство абсолютных звёздных величин или равенство масс этих туманностей).



Крабовидная туманность в созвездии Тельца удалена от нас примерно на 1000 пс. Расстояние определили, зная, что линейному расширению туманности со скоростью 1000 км/сек соответствует угловое расширение $0'', 21$ в год. 32



В созвездии Геркулеса находится самое яркое в северном полушарии шаровое звёздное скопление. Расстояние до него (10 000 пс) определили, когда в скоплении были открыты переменные звёзды типа RR Лир.



Шаровые скопления в Галактике

**Шаровые скопления
в районе Стрельца
(центр Галактики)**

Узнав расстояние до нескольких десятков шаровых скоплений, обнаружили, что они группируются в направлении центра Галактики. Это помогло установить положение в Галактике Солнца.

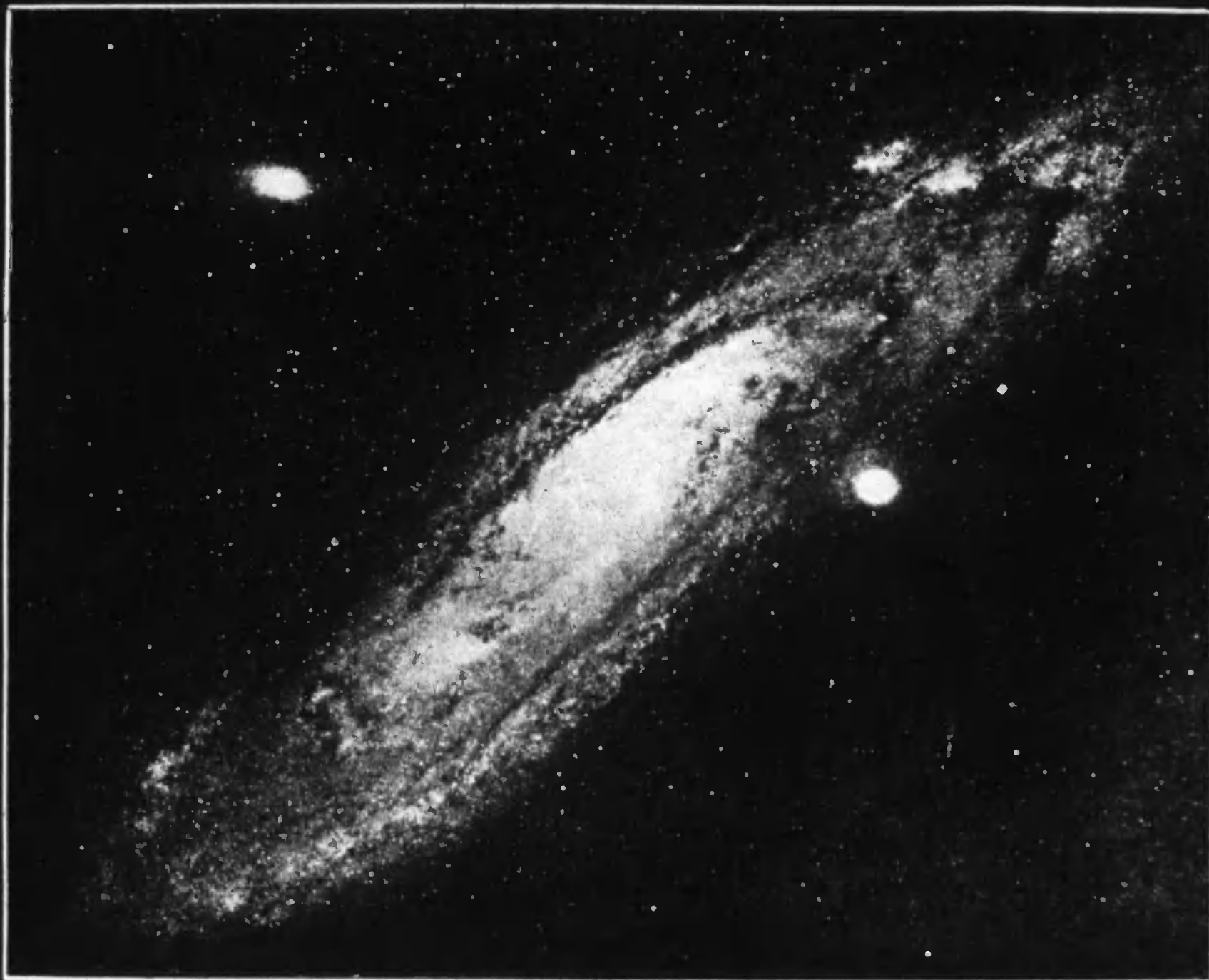
IV.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАССТОЯНИЙ ДО ГАЛАКТИК





Существуют ли внегалактические объекты? На этот вопрос можно было ответить положительно после открытия цефеид и звёзд типа RR Лиры в Малом Магеллановом Облаке — одном из двух спутников Галактики. Оно оказалось от нас на расстоянии в полтора раза большем, чем диаметр Галактики.



Цефеиды и новые звёзды помогли определить расстояния до других ближайших к нам галактик и прежде всего до галактики в созвездии Андромеды.



Ежегодно открывают примерно 10 сверхновых звёзд. Известно, что в максимуме блеск многих из них достигает $M \approx -15^m$. Это позволяет определить расстояние до галактик, в которых невозможно рассмотреть менее яркие звёзды.

Галактики
из скопления
в созвездии:

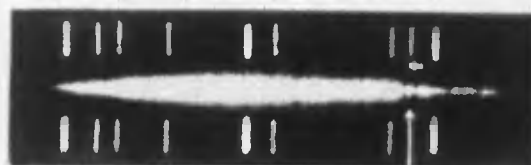
Расстояние
в св. г.

Красные смещения



ДЕВЫ

39 000 000

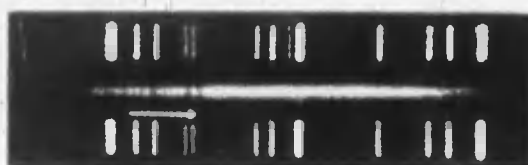


1200 км/сек



Б. МЕДВЕДИЦЫ

490 000 000

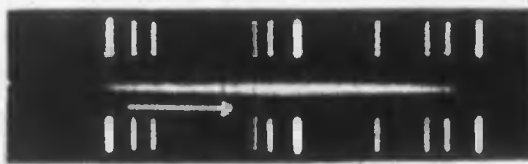


15 000 км/сек



СЕВЕРНОЙ
КОРОНЫ

7000 000 00

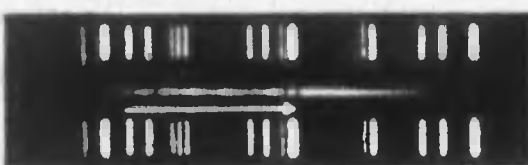


21 500 км/сек



ВОЛОПАСА

1 300 000 000

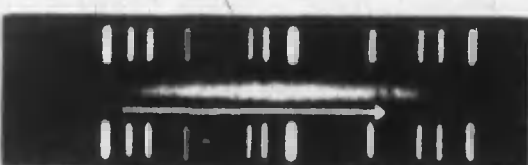


39 800 км/сек



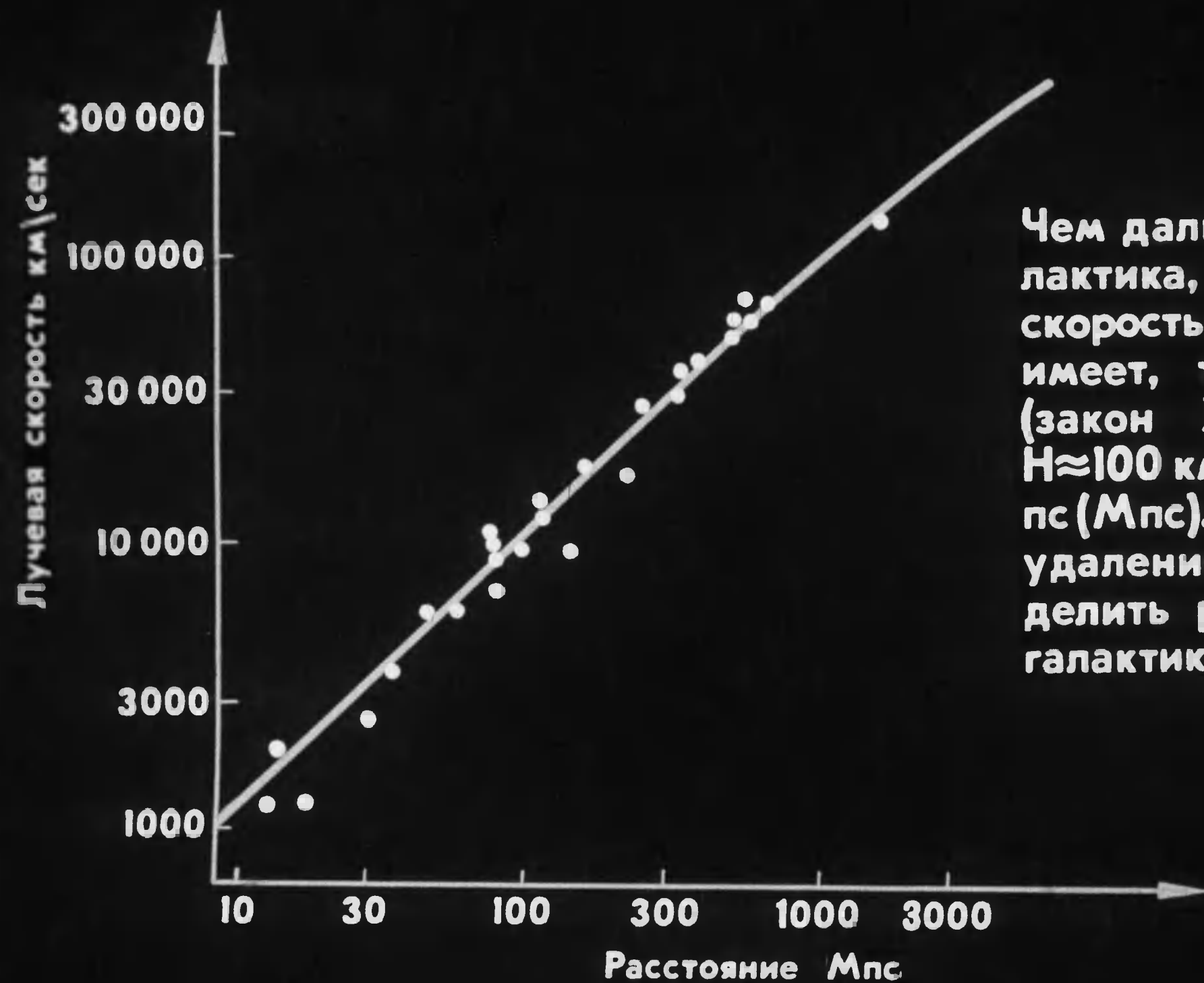
ГИДРЫ

1 980 000 000

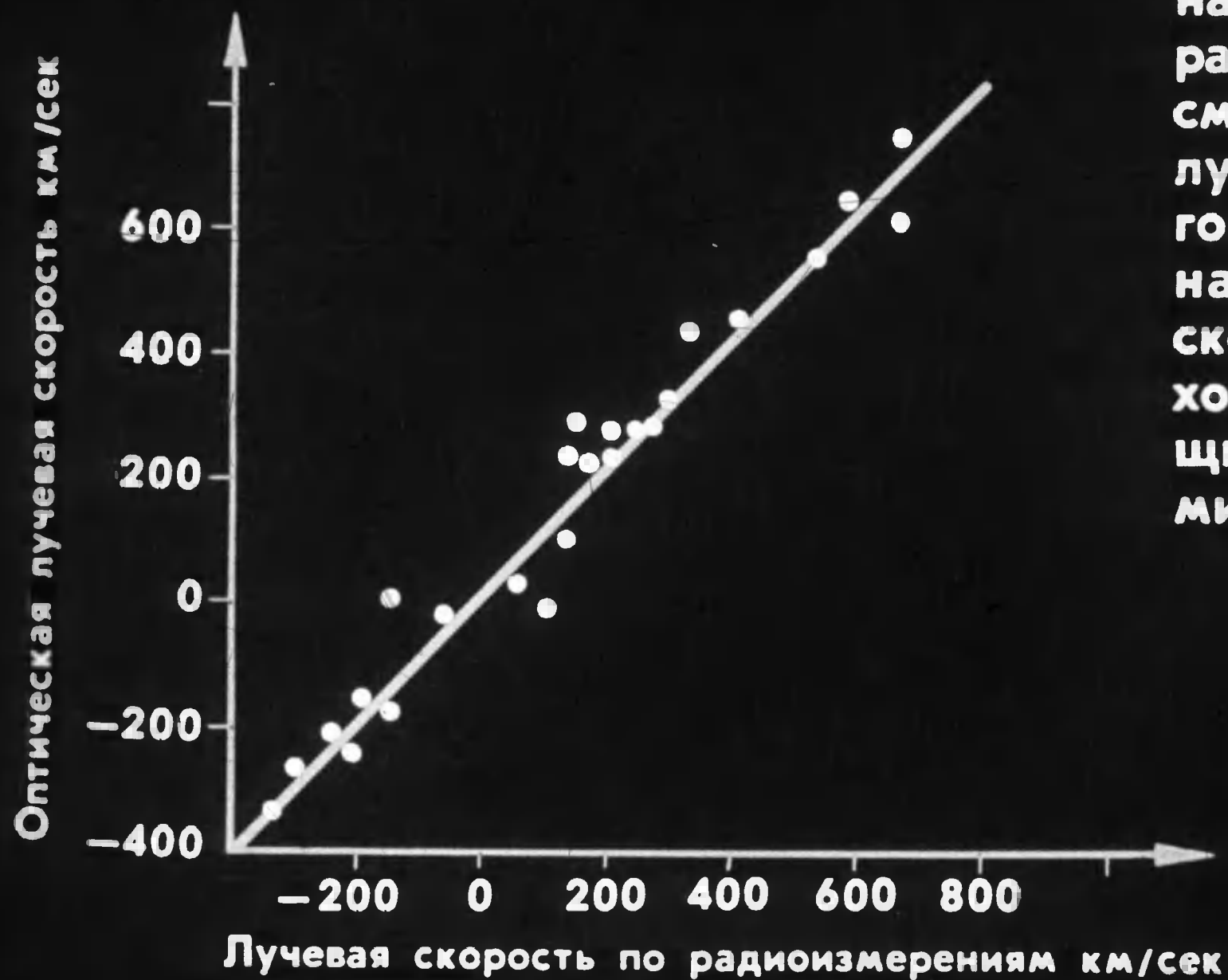


60 900 км/сек

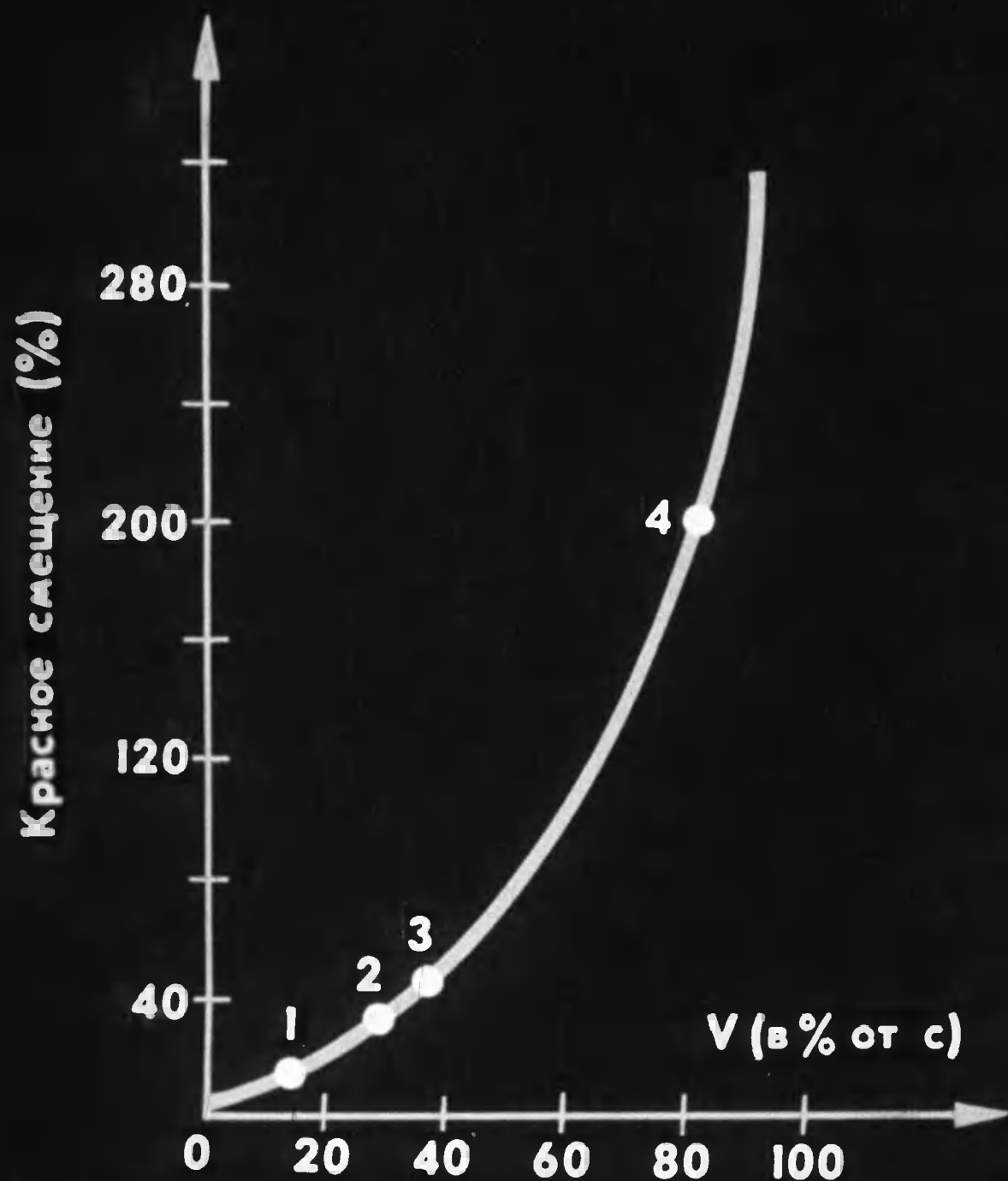
Расстояния до очень дальних от нас галактик определены благодаря наблюдаемому в их спектрах красному смещению. Для этого сначала определяют скорость удаления галактик ($V = \frac{c\Delta\lambda}{\lambda}$).



Чем дальше от нас галактика, тем большую скорость удаления она имеет, т. е. $V = HD$ (закон Хаббла), где $H \approx 100$ км/сек на 1 млн. пс (Мпс). Зная скорость удаления, можно определить расстояние до галактики.



Красное смещение наблюдается и в радиодиапазоне. По смещению линии излучения нейтрального водорода ($\lambda=21\text{ см}$) нашли скорости нескольких галактик, хорошо согласующиеся с оптическими наблюдениями.



- 1 — 3 С 273 ($\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = 0,16$; $V = 0,15 c$)
 2 — 3 С 48 ($\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = 0,37$; $V = 0,35 c$);
 3 — 3 С 295 ($\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = 0,46$; $V = 0,4 c$);
 4 — 3 С 9 ($\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = 2,0$; $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = 0,8 c$).

Наибольшие красные смещения (а значит, и расстояния от нас) оказались у квазаров. Из графика видно, что уже при $V = 0,2 c$ наблюдаются заметные отклонения от закона Хаббла.

Автор Е. П. Левитан

Художник-оформитель С. Н. Рогов

Редактор Л. Б. Книжникова

Студия «Диафильм», 1970 г.

Москва, Центр, Старосадский пер., д. № 7

Чёрно-белый 0-20

Д-353-70