



ИЗМЕРЕНИЕ ДЛИНЫ

«В природе мера и вес суть главные орудия познания. Наука начинается тогда, когда начинают измерять».

Д. И. Менделеев

В. П. Лышевский

Потребность измерять протяженность возникла у человека в глубокой древности. Вначале людей удовлетворяли субъективные меры, которые устанавливал правитель данной страны. Это, в частности, отразилось в названии линейки, на английском языке называемой «рулер», что означает «правитель» (отсюда же — рулетка). Так, например, английский король Генрих I установил ярд как расстояние от кончика носа до конца большого пальца вытянутой руки. Позднее был изготовлен прут из бронзы, равный ярду, и на него нанесли деления, расположенные на равном расстоянии друг от друга.

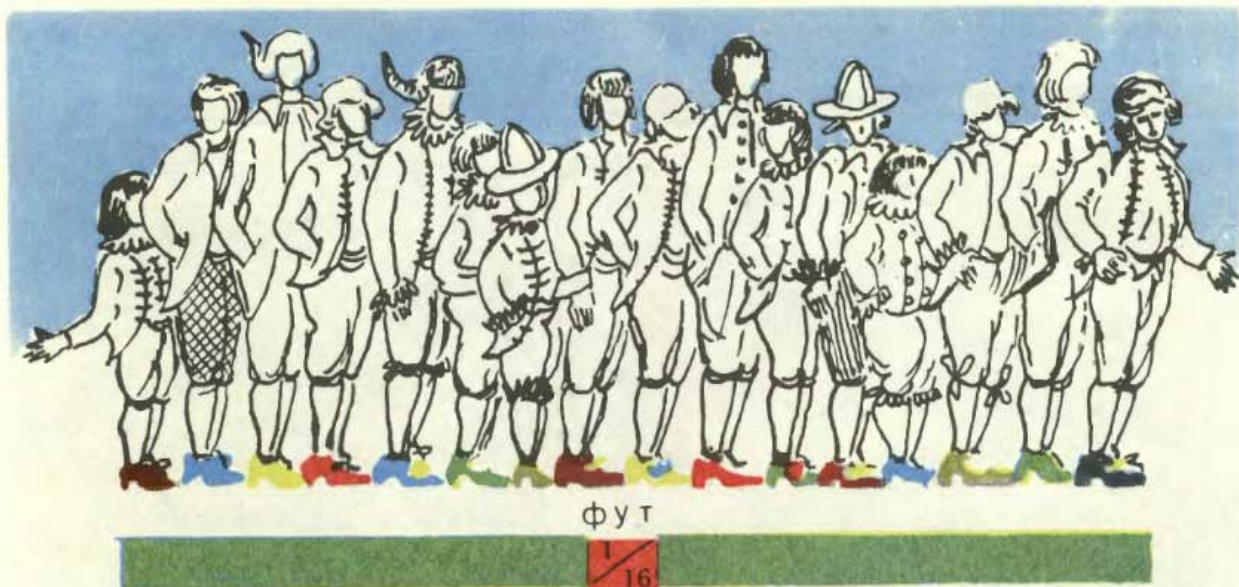
В средние века в Европе за единицу измерения длины была принята мера, образцом которой служила длина «цепочки» из шестнадцати человек, стоящих таким образом, что пятка предыдущего касалась концев пальцев следующего. Одна шестнадцатая длины такой «цепочки» составляла «фут», что по английски означает

«ступня». При определении, чему равен фут, меньшее значение длины ступни одного человека компенсировалось большей длиной ступни другого, поэтому средние значения фута в разных географических пунктах мало отличались друг от друга.

Существовали курьезные меры длины. Так, при покупке земли индейцы в качестве единицы измерения принимали территорию, которую человек мог обойти за один день. Поэтому покупатели обычно нанимали для этой цели самого быстрого бегуна.

В России субъективными мерами длины были пядь, шаг, локоть. Большие расстояния измерялись полетом стрелы. С развитием торговли и ремесел появились объективные узаконенные меры длины. В России такой мерой стал аршин. Три аршина составляли сажень, 500 сажений — версту (1,0668 км).

В конце восемнадцатого века группа французских ученых предложила метрическую систему мер «на все вре-



мена и для всех народов». Система строилась на двух основных единицах: метре и килограмме с производными и десятичными подразделениями. Простота метрической системы и удобство ее применения вполне удовлетворяли требованиям того времени. Система была принята многими странами, в том числе и Россией.

В качестве единицы длины — метра — была принята одна сорокамиллионная часть земного меридиана, проходящего через Париж. В конце XVIII — начале XIX веков группа ученых по поручению Французской академии наук произвела измерение длины отрезка меридиана от Дюнкерка до острова Форментуры*). На основании проведенных измерений из платиноиридиевого сплава, наиболее стойкого в то время, был изготовлен

Рис. 1. Так в средние века устанавливали, чему равен фут.

прототип метра, который до сих пор хранится в Международном бюро мер и весов в Севре близ Парижа.

Метр был задуман как естественная единица длины — одна сорокамиллионная часть земного меридиана. Но со временем он перестал быть такой единицей. Уточнялась длина окружности Земли, изменялся платиноиридиевый стержень, и теперь образец метра — это не одна сорокамиллионная часть длины окружности земного шара, а просто некоторая фиксированная длина. Поэтому возникла необходимость вернуться к естественному эталону, встречающемуся в природе и легко воспроизводимому. Иначе возможна ужасная путаница, если вдруг международный эталон метра будет по какой-либо причине утерян, похищен или поврежден. Кроме того, существующий эталон не обеспечивал измерения длины с точностью, необходимой для нужд современной науки и техники.

XI Генеральная конференция по мерам и весам (1960 г.) дала новое определение метра. Ее резолюция гласит: «...конференция, принимая во внимание, что международный прототип не определяет метр с точностью, достаточной для современных потребностей, и что, с другой стороны, желательно принять естественный и не-

*) Самое первое вычисление длины окружности земного шара принадлежит Эратосфену (276—194 гг. до н. э.). Ему было известно, что в Сиене есть колодец, дно которого освещается Солнцем в день летнего солнцестояния, то есть в Сиене в это время Солнце находится в зените. В то же время в Александрии, где жил Эратосфен, Солнце стояло к югу от линии отвеса на $1/50$ окружности, то есть на $7^\circ 12'$. Расстояние между Сиеной и Александрией Эратосфен определил в 5000 стадий. Из этих данных он нашел величину окружности земного шара, которая получилась у Эратосфена равной 39 690 км (в современных единицах), что незначительно отличается от действительного значения.

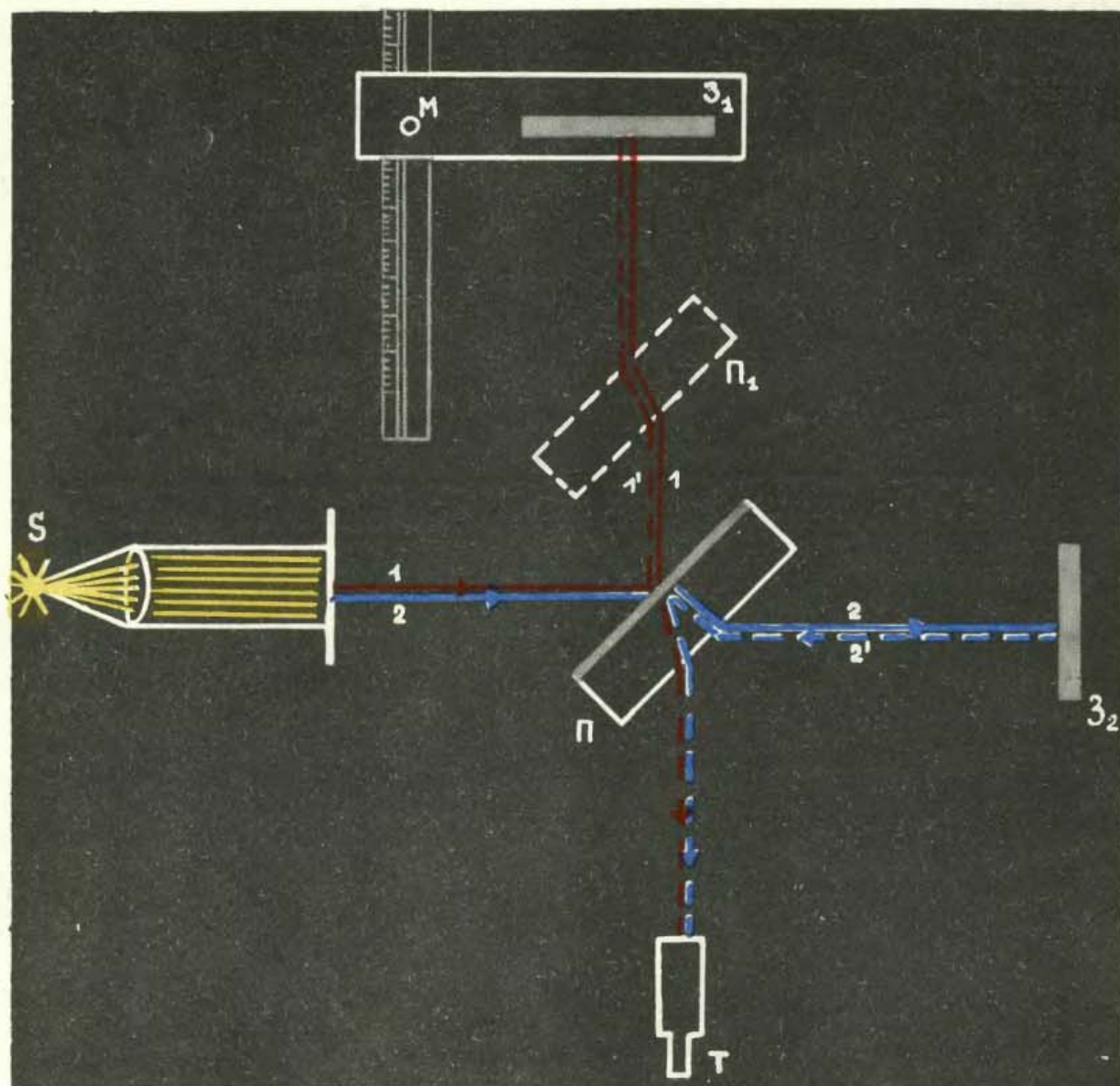


Рис. 2. Сравнение длины эталонного метра с длиной световой волны производится при помощи приборов, которые называются интерференционными компараторами. Одна из схем такого прибора показана на рисунке. Параллельный пучок световых лучей от источника S падает под углом 45° на посеребренную полупрозрачную стеклянную пластинку P , которая разделяет световой поток на две части. Отраженный луч 1 идет к зеркалу Z_1 , отражается от него и, пройдя пластинку P_1 , попадает в зрительную трубу T . Луч 2, пройдя пластинку P , отражается от зеркала Z_2 , затем отражается от полупрозрачной стороны пластинки P и тоже попадает в трубу T . (Для наглядности лучи 1 и 2 изображены разным цветом.) Луч 2 трижды проходит пластинку P , а луч 1 —

только один раз. Для компенсации возникающей из-за этого разности хода лучей на пути первого луча ставится прозрачная пластинка P_1 , сделанная из того же материала, что и пластинка P . Пучки света 1' и 2' когерентны и дают в поле зрения трубы T интерференционную картину. В зависимости от разности хода лучей поле зрения трубы светлое или темное. При перемещении зеркала Z_1 на расстояние, равное четверти длины волны, разность хода обоих лучей увеличивается на половину длины волны и происходит смена освещенности зрительного поля. Вместо трубы можно поставить фотоумножитель, который будет выдавать электрические импульсы при каждой смене освещенности. Так можно сосчитать число волн, уместившихся на данной длине.

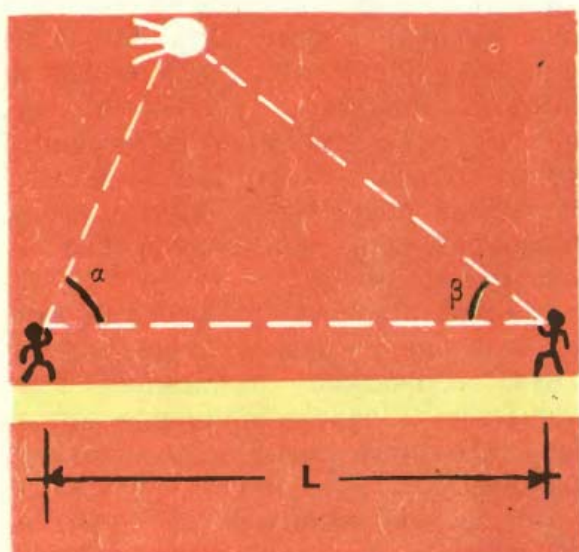


Рис. 3. Метод триангуляции. Зная длину AB и углы α и β , можно определить расстояние до объекта C .

разрушимый эталон, решает: метр — длина, равная 1 650 763,73 длин волн в вакууме излучения ... атома криптона 86». С введением нового эталона точность измерения длины повысилась в сто раз.

Итак, человечество вернулось к естественному эталону длины. На основании инструкции, приложенной к определению метра, в любой стране можно воспроизвести новый эталон длины. Для этой цели служит специальный прибор: компаратор. С его

Рис. 4. Определение высоты орбиты искусственного спутника Земли методом триангуляции.



помощью можно получать образцовые меры метра.

Как измеряется длина? После того как единица измерения определена, сделать это нетрудно. Надо просто посмотреть, сколько раз метр (или какая-либо его часть) укладывается на измеряемом расстоянии.

А что делать, если нужно измерить расстояние до объекта, расположенного в горах или на сильно пересеченной местности? Тогда на помощь приходит другой метод определения длины, называемый триангуляцией. Из двух точек, расстояние между которыми известно, находят направление на объект (рис. 3). По известному расстоянию L и углам α и β можно вычислить все элементы треугольника.

Именно методом триангуляции воспользовались ученые, когда измеряли длину меридиана от Дюнкерка до острова Форментуры. Затем, зная расстояние между этими двумя пунктами в каких-либо единицах длины и в градусах, можно было вычислить длину всего меридиана.

Метод непосредственного измерения длины и метод триангуляции дают одинаковые результаты, когда ими пользуются на Земле. Поэтому естественно распространить метод триангуляции на определение расстояний до космических объектов. Так, например, определяется высота полета

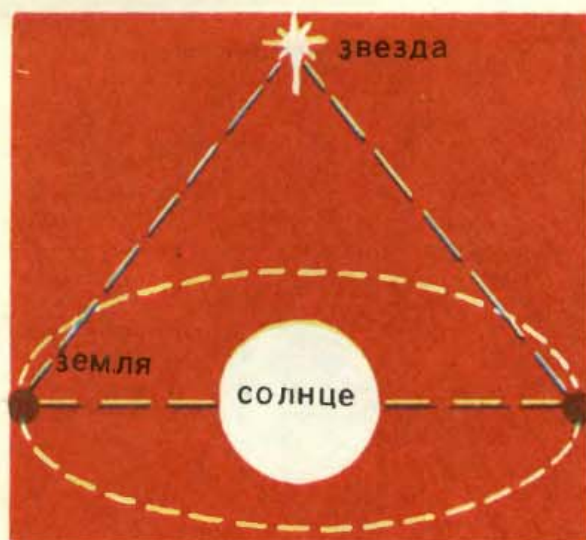


Рис. 5. Определение расстояния до ближайших звезд методом триангуляции. Известной длиной — базой — служит диаметр орбиты Земли.

искусственного спутника Земли, так было определено в свое время расстояние до Луны, нашего естественного спутника. В последнее время расстояние до Луны было уточнено локацией (сначала радио, а затем лазерной). Так как скорость распространения радио и световых волн нам известна, то по времени, которое проходит от посылки сигнала до его возвращения после отражения от поверхности Луны, можно определить расстояние до нашего естественного спутника (путь равен скорости, умноженной на время).

Но метод триангуляции отказывает, когда встает вопрос об определении расстояний до планет нашей солнечной системы и самого Солнца. Эти космические объекты расположены так далеко от Земли, что с любой точки поверхности нашей планеты они видны практически под одним и тем же углом. Мы не можем найти расстояние до Солнца и планет, но мы можем определить их взаимное расположение. Найдя затем расстояние до небольшой планеты Эрос, которая временами близко подходит к Земле, мы можем вычислить абсолютные расстояния до Солнца и всех планет солнечной системы, включая Плутон.

Для определения расстояния до



Рис. 6. Фотография участка неба со спиральной галактикой, подобной нашей. Если предположить, что ее диаметр равен диаметру нашей Галактики, то, основываясь на кажущемся размере этой далекой галактики, можно вычислить расстояние до нее. Оно оказывается равным 30 миллионам световых лет ($3 \cdot 10^{23}$ м).

ближайших звезд можно снова применить метод триангуляции, воспользовавшись годовым движением Земли вокруг Солнца. Если мы направим телескоп на некую звезду один раз зимой, а другой раз летом (рис. 5), то можно с достаточной точностью определить углы, а следовательно, и расстояние до звезды.

А как быть с далекими звездами? Здесь на помощь приходит другой метод, связанный с тем, что чем дальше находится звезда от нас, тем она выглядит более тусклой. Если для ближайших звезд, расстояние до которых известно, установить зависимость светимости от расстояния, то по степени яркости любой звезды, пользуясь полученным законом, можно определить, как далеко она от нас расположена.

Данные о диаметре нашей Галактики позволяют определять еще большие межгалактические расстояния. Размеры всех галактик примерно одинаковы. Поэтому, зная угловой размер какой-либо галактики, то есть угол, который она занимает на небесном своде, и ее диаметр, можно вычис-

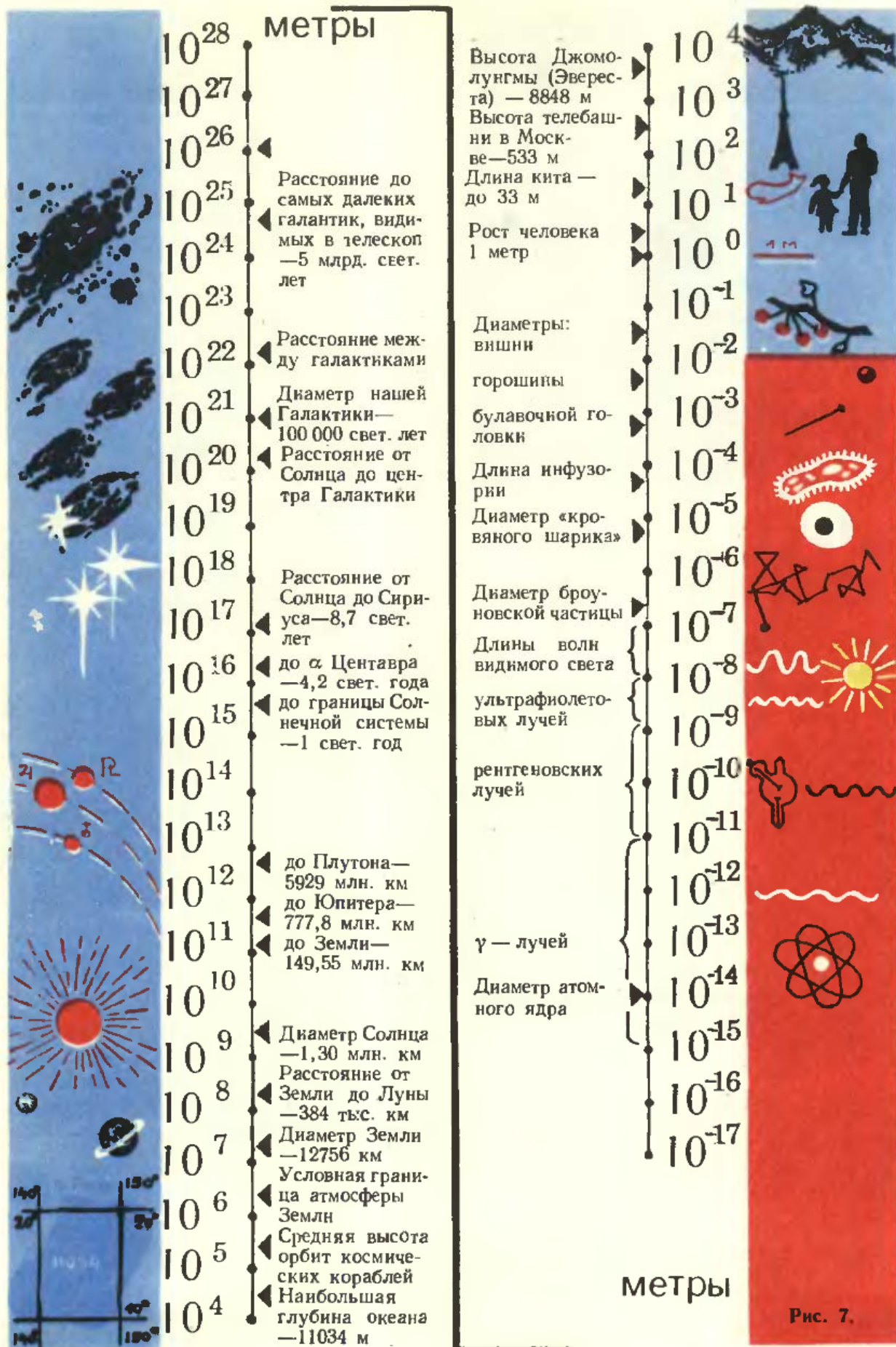


Рис. 7.



Рис. 8. Эта фотография вирусов сделана с помощью электронного микроскопа. «Большая» сфера имеет размеры $2 \cdot 10^{-7}$ м (2000 \AA). Она помещена для сравнения.

лить расстояние до этой галактики. Сейчас полагают, что расстояние до некоторых галактик приблизительно равно 10^{26} м.

Посмотрим теперь, как определяются малые протяженности.

Метр нетрудно разделить на тысячу частей. Немного труднее разделить миллиметр на тысячу частей. Для этого нужен только хороший микроскоп. Так мы получаем микрон — миллионную часть метра. Но дальнейшее деление производить трудно, так как невозможно увидеть объекты меньше, чем длина волны видимого света (около $5 \cdot 10^{-7}$ м).

С помощью электронного микроскопа можно увидеть и измерить объекты, имеющие размеры до 10^{-8} м. Чем меньше длина волны электромагнитного излучения, тем более мелкие объекты мы можем «увидеть». Так, например, гамма-лучи позволяют «рассматривать» объекты, размеры которых не превышают 10^{-11} м.

Для определения ядерных размеров применяются уже совершенно другие методы: измеряется так называемое эффективное поперечное се-

чение ядер. Его можно определить, пропуская пучок частиц высокой энергии через тонкую пластинку вещества и измеряя число частиц, не прошедших сквозь нее. Отношение числа не прошедших частиц ко всем испущенным пропорционально отношению площади, занимаемой ядрами атомов к площади пластинки. Подобные эксперименты показали, что радиусы ядер лежат в пределах от $1 \cdot 10^{-15}$ до $6 \cdot 10^{-15}$ м *).

Наконец, расскажем о рисунке 7, на котором показано все размерное многообразие окружающего нас мира. «При решении научных проблем ученому всегда приходится в своем воображении ясно представлять величину... тех физических величин, которые служат для описания изучаемого явления... Поэтому надо приучать смолodu ученых, чтобы символы в формулах, определяющие физические величины, всегда представляли для них конкретные, количественные значения. Для физика, в отличие от математика, как параметры, так и переменные величины в математическом уравнении должны являться конкретными количествами», — говорит академик П. Л. Капица.

Единица измерения шкалы рисунка 7 — метр. Каждые два соседних деления обозначают размеры, отличающиеся друг от друга в 10 раз. 10^0 м — один метр, 10^1 м — десять метров, 10^2 м — сто метров и т. д. Аналогично 10^{-1} м — десятая часть метра (или десять сантиметров), 10^{-2} м — сотая часть метра (один сантиметр) и т. д. При помощи логарифмической шкалы можно показать на одном графике все размеры, встречающиеся в природе и технике: от самого маленького до самого большого.

*) Единица длины, равная 10^{-15} м, называется ферми, в честь известного физика Энрико Ферми (1901—1954).