

пространство, в котором скорость света в одном направлении была бы вдвое больше, чем в другом направлении, перпендикулярном к первому. Нет никаких данных, что подобные явления возможны в свободном пространстве. Однако свойства многих кристаллов зависят от направления, т. е. эти кристаллы являются анизотропными.

Инвариантность по отношению к параллельному переносу приводит к сохранению импульса; инвариантность по отношению к повороту приводит к сохранению момента импульса. Эти физические законы подробно рассматриваются в гл. 3 и 6. Представление об инвариантности рассматривается также в гл. 2 и в конце гл. 3.

Задачи

1. Известная нам часть Вселенной. Используя данные из текста главы, вычислить следующие величины:

а) Общую массу известной нам части Вселенной.

Ответ. $\sim 10^{56}$ г.

б) Среднюю плотность вещества во Вселенной.

Ответ. $\sim 10^{-29}$ г/см³, что соответствует 100 водородным атомам на 1 м³.

в) Отношение радиуса известной нам части Вселенной к радиусу протона. Принять радиус протона равным 10^{-13} см, массу протона — равной $1,7 \cdot 10^{-24}$ г.

2. Прохождение сигналом малых расстояний. Определить время, необходимое для того, чтобы сигнал, распространяющийся со скоростью света, прошел расстояние, равное диаметру протона. Диаметр протона принять равным $2 \cdot 10^{-13}$ см.

3. Расстояние до Сириуса. Параллакс звезды — это половина угла, вершиной которого является звезда, а стороны соединяют эту вершину с крайними точками орбиты Земли вокруг Солнца. Параллакс Сириуса равен $0,371''$. Найти расстояние до Сириуса в сантиметрах, световых годах и парсеках. (См. таблицу физических постоянных.)

Ответ. $8,3 \cdot 10^{18}$ см; 8,8 св. лет; 2,7 парсека.

4. Размеры атомов. Пользуясь значением числа Авогадро, приведенным в таблице, и приближенной величиной средней плотности обычных твердых тел, найти приближенно средний диаметр атома.

5. Угол, под которым видна Луна. В ясную погоду возьмите линейку с миллиметровыми делениями и проделайте следующий опыт: держа линейку на расстоянии вытянутой руки, измерьте отрезок, закрывающий диаметр Луны, а затем измерьте расстояние от линейки до вашего глаза. Зная, что радиус лунной орбиты равен $3,8 \cdot 10^{10}$ см, определите диаметр Луны.

а) Если вы смогли проделать этот опыт, то каков был результат?

б) Если почему-либо нельзя было произвести измерение, то по радиусу лунной орбиты и радиусу самой Луны ($1,7 \cdot 10^8$ см) рассчитайте угол, под которым Луна видна с поверхности Земли.

Ответ. $9 \cdot 10^{-3}$ рад.

в) Под каким углом видна Земля с поверхности Луны?

Ответ. $3,4 \cdot 10^{-2}$ рад.

г) Комптоновская длина волны. Составить выражение для величины, имеющей размерность длины, используя скорость света c , массу электрона m и постоянную Планка h . Размерность постоянной Планка: [энергия·время] или [масса·длина²/время]. Определить числовое значение этой величины по значениям c , m и h , данным в таблице. Эта длина играет важную роль в атомной физике (ее обычно обозначают через λ_K).

Дополнение. Простая астрономия Солнечной системы

Два астронома-любителя поставили перед собой цель определить диаметр и массу Солнца. Надлежащим образом обдумав задачу, они поняли, что сначала надо определить некоторые вспомогательные величины.

Их первый шаг — это определение радиуса Земли, которое они производят, удалившись друг от друга на 500 миль ($8,05 \cdot 10^7$ см) по географическому меридиану (т. е. по линии постоянной долготы), причем для определения этого расстояния используются точные географические карты. Наблюдатели поддерживают между собой связь с помощью коротких радиоволн. Южный наблюдатель S выбирает звезду, которая в определенный момент проходит через его зенит.

В тот момент, когда выбранная звезда проходит через зенит южного наблюдателя, она пересекает также меридиан северного наблюдателя N , но вследствие кривизны земной поверхности пересекает его ниже зенита этого наблюдателя (рис. 1.18).

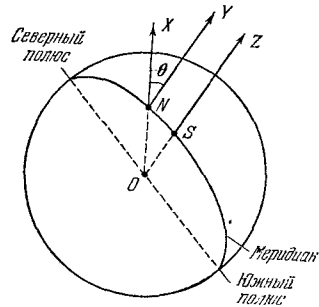


Рис. 1.18. Свет от удаленной звезды, находящейся в зените, поступает к наблюдателю S по линии ZSO (линия от зенита для S). Свет от той же звезды поступает к наблюдателю N по линии $YNO \parallel ZSO$. Линия XNO проведена от зенита для N . YN и XNO пересекаются под углом θ . N — северный наблюдатель, S — южный наблюдатель, O — центр Земли.

а) Показать, что если северный наблюдатель получает значение угла между звездой и зенитом $\theta = 7,2^\circ$, то при расчете получается величина радиуса Земли $6,4 \cdot 10^8$ см.

Оба наблюдателя считают, что следующим необходимым шагом является измерение скорости обращения Луны по ее орбите вокруг центра Земли. Они выполняют это косвенным путем, отмечая моменты времени, в которые закрывается Луной какая-то определенная звезда, видимая с двух различных точек земной поверхности. Чтобы уменьшить трудности геометрического и вообще математического расчета, они делают ряд упрощающих предположений: считают, что Луна и звезда находятся в плоскости эклиптики (т. е. в плоскости, в которой находятся Солнце и орбита Земли); что звезда проходит прямо позади Луны, т. е. по ее диаметру; что наблюдения производятся в полночь при полнолунии. В этом расчете не учитываются также кривизна Земли, влияние преломления света в атмосфере и другие поправки. Взаимное геометрическое расположение Луны, Земли и Солнца изображено на рис. 1.19.

Параллельные лучи света от весьма далекой звезды принимаются двумя наблюдателями O_3 и O_B . Западный наблюдатель O_3 отмечает момент $t_3(1)$, в который звезда закрывается Луной и затем момент $t_3(2)$, в который она снова появляется из-за Луны. Подобные же отсчеты $t_B(1)$ и $t_B(2)$ производятся восточным наблюдателем (рис. 1.20).

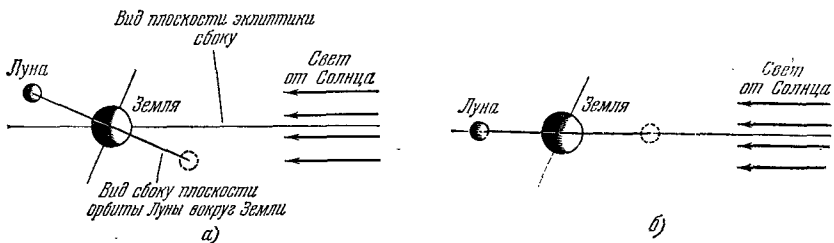


Рис. 1.19. а) Фактическое относительное расположение Земли, Луны и Солнца. б) Идеализированное для удобства рассуждения относительное расположение Земли, Луны и Солнца.

б) Показать, что скорость Луны относительно центра Земли определяется из следующего соотношения:

$$v_{Л} = v_0 + \frac{s}{t_B(1) - t_3(1)},$$

где s — расстояние между наблюдателями, v_0 — линейная скорость наблюдателя, а $t_B(1)$ и $t_3(1)$ были определены выше.

Зная скорость Луны, каждый наблюдатель сможет определить диаметр Луны по величине промежутка времени, в течение которого Луна закрывает звезду.

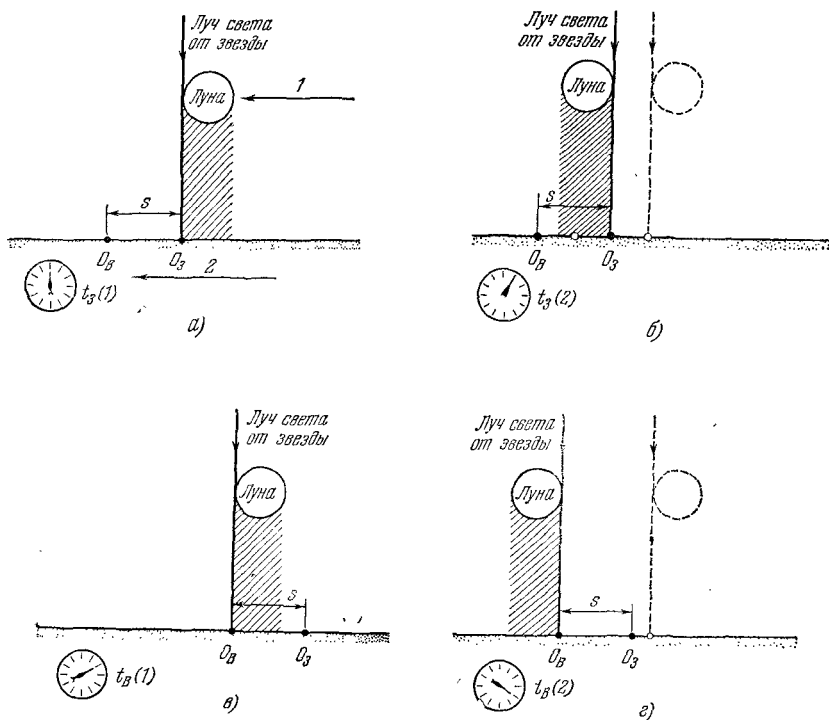


Рис. 1.20. а) Положение Луны и наблюдателей O_3 и O_B в момент $t_3(1)$. Предполагается, что звезда бесконечно удалена и поэтому лучи света от нее параллельны (1 — направление движения Луны; 2 — направление движения наблюдателей, обусловленного вращением Земли). б) В момент $t_3(2)$ Луна переместилась в это положение, и свет от звезды опять становится виден наблюдателю O_3 , который за тот же промежуток времени переместился из-за вращения Земли в новое положение, показанное на рисунке. в) Таким же образом наблюдатель O_B перестает видеть звезду в момент $t_B(1)$. г) Через некоторый промежуток времени в момент $t_B(2)$ эта звезда опять становится видна ему.

в) Показать, что диаметр Луны равен

$$2R_L = (v_L - v_0)(t_2 - t_1),$$

где t_1 и t_2 — соответствующие отсчеты времени, произведенные тем или другим наблюдателем.

г) Используя значение радиуса Земли, определенное выше, и зная период ее вращения, определить линейную скорость, с которой движется относительно центра Земли точка ее поверхности, находящаяся на тридцатой северной параллели.

Ответ. $4,04 \cdot 10^4$ см.

Типичные результаты наблюдений, которые могли бы быть получены двумя любителями, приведены в следующей таблице.

Наблюдение	t_3 (1)	t_3 (2)	t_B (1)	t_B (2)
Время, мин	0,0	95,6	22,0	117,7

д) Используя эти данные и полученные выше результаты, можно показать, что скорость движения Луны равна $10,1 \cdot 10^4$ см/сек, а диаметр равен $3,48 \cdot 10^8$ см. Определив орбитальную скорость Луны, два астронома-любителя сразу используют известную им величину периода обращения ее по орбите ($2,36 \cdot 10^6$ сек) для определения радиуса орбиты.

е) Показать, что их наблюдения приводят к результату, согласующемуся с данными точных измерений ($3,8 \cdot 10^{10}$ см).

Если спутник данного небесного тела движется по круговой орбите, то можно довольно просто определить массу притягивающего его тела. Пользуясь законом тяготения Ньютона $F = GM_3 M_{\text{Л}}/r^2$ для силы притяжения между Землей и Луной, мы показываем в гл. 3, что $GM_3 = v_{\text{Л}}^2 r = R^2 g$, где G — гравитационная постоянная, M_3 — масса Земли, $v_{\text{Л}}$ — скорость Луны, r — радиус орбиты Луны, R — радиус Земли, g — ускорение силы тяжести на поверхности Земли (980 см/сек²). Первое из двух приведенных равенств получается в результате приравнивания силы притяжения центробежной силе $M_{\text{Л}} v_{\text{Л}}^2/r$, где $M_{\text{Л}}$ — масса Луны.

ж) Рассчитать величину константы GM_3 .

После значительных усилий наши любители приходят к выводу, что, так как у них нет сведений, достаточных для вычисления массы Земли, им надо произвести другой опыт. В идеальном случае они должны измерить гравитационную постоянную G . Ввиду того, что это измерение довольно трудно выполнить, они решают взамен него определить плотность Земли.

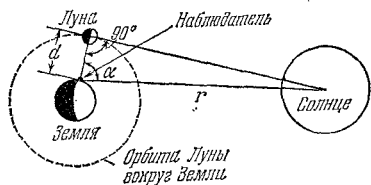


Рис. 1.21. Метод определения расстояния от Земли до Солнца с помощью уже известных данных относительно орбиты Луны.

Исходя из того, что это измерение довольно трудно выполнить, они решают взамен него определить плотность Земли. Изучая вещества, находящиеся на поверхности, они получают величину 5 г/см³.

з) Какова по этим данным приближительная масса Земли? Какой ошибке в процентах это в действительности соответствует?

и) Используя эту приближительную величину и предыдущие результаты, определить порядок величины G .

Затем два любителя, пользуясь известными им данными относительно орбиты Луны, определяют расстояние до Солнца, как показано на рис. 1.21. В данный момент времени Солнце, Луна и Земля находятся в таких положениях, что край тени совпадает с диаметром Луны (которая видна наблюдателю как точный полукруг). В этот момент наблюдатель определяет угол между направлениями к центру Луны и к центру Солнца.

к) Для значения угла $\alpha = 89^\circ 51'$ рассчитать расстояние от Земли до Солнца. Зная расстояние от Земли до Солнца, два любителя убеждаются, что третий закон Кеплера (в дополнение к ньютоновским основным законам движения) позволяет им рассчитать массу Солнца (см. «Физика», пер. с англ. под ред. А. С. Ахматова, «Наука», 1965, стр. 464).

л) Рассчитать массу Солнца.

Наконец, два любителя, которым посчастливилось наблюдать в 1963 г. полное солнечное затмение, вспоминают, что тогда Луна почти точно закрыла все Солнце.

м) Определить диаметр Солнца $2R_{\text{С}}$ на основании сведений, изложенных выше.

Выполнение подобных определений с предельной точностью требует большого труда по налаживанию приборов, наблюдениям, их интерпретации, расчетам и разработке теории — все это занимало умы многих людей в течение столетий и представляет интерес также в наше время. Однако соображения относительно

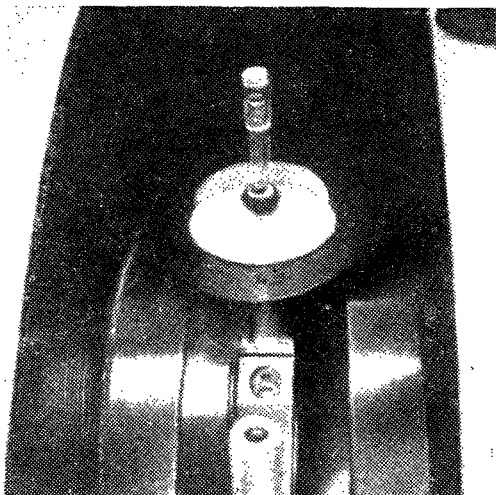


Рис. 1.22. Получение спектров ядерного магнитного резонанса: образец быстро вращается между полюсами электромагнита, чтобы усреднить местные изменения магнитного поля

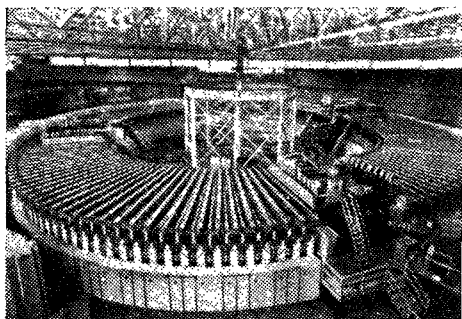


Рис. 1.23. Ускоритель частиц высоких энергий — бэватрон в Беркли. Внизу справа — место ввода протонов. (Радиационная лаборатория им. Лоуренса)

точности не помешали людям производить измерения в новых областях науки. Если бы физики дожидались, пока будут усовершенствованы приборы, дающие высокую точность измерений, они вообще не могли бы двигаться вперед. Как-то было сказано, что многие сложные экспериментальные установки являются памятниками потерянному времени.

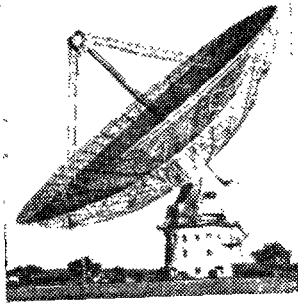


Рис. 1.24. Большой радиотелескоп в Австралии. Диаметр чаши 64 м. Прибор находится в укромной долине в Новом Южном Уэльсе в 320 км к западу от Сиднея. В этом удаленном месте электрические помехи минимальны.

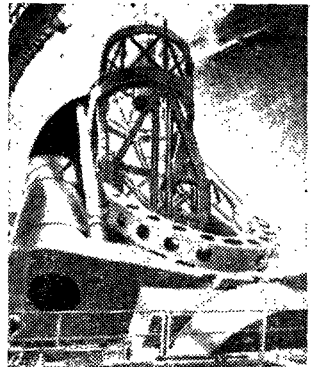


Рис. 1.25. Телескоп Хэйла, направленный в зенит; вид с юга. Диаметр зеркала этого телескопа 200 дюймов (5,08 м). (Обсерватории Маунт Вильсон и Паломар)

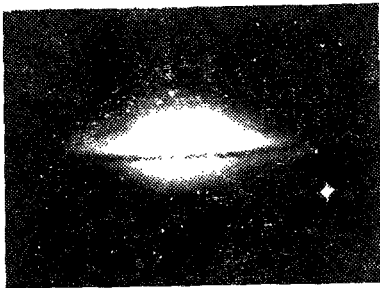


Рис. 1.26. Вид сбоку на спиральную туманность NGC 4594 в созвездии Девы. Снимок сделан с помощью двухсотдюймового телескопа Хэйла. (Обсерватории Маунт Вильсон и Паломар)

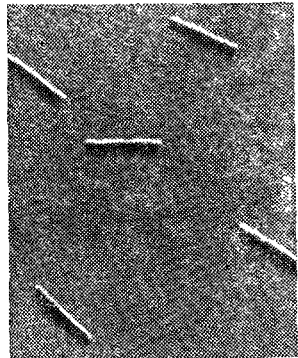


Рис. 1.27. Снимок частиц вируса табачной мозаики, полученный в электронном микроскопе с увеличением 70 000. Эти палочки состоят из протейна и рибонуклеиновой кислоты и проявляют вредное инфекционное действие, если натереть ими листья растений табака. Рентгеноструктурный анализ показывает, что частицы вируса имеют форму спирали, состоящей примерно из 2000 витков, причем витки спирали образованы как протейном, так и рибонуклеиновой кислотой. (Лаборатория вирусов Калифорнийского университета в Беркли)



Рис. 1.28. Электромагнит со сверхпроводящими обмотками, работающий при низкой температуре. Эти обмотки рассчитаны на получение магнитного поля в 54 000 гс. Такой прибор является сердцем современной лаборатории низких температур.

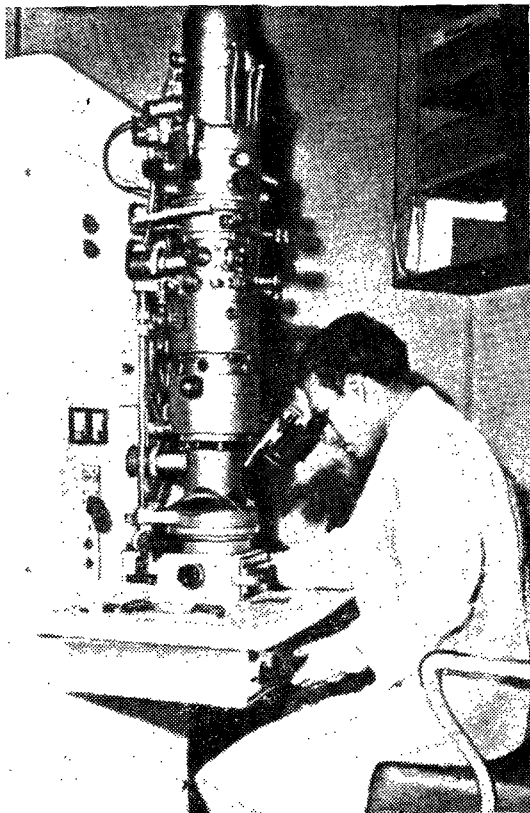


Рис. 1.29. Электронный микроскоп Сименса, работающий при напряжении 50 — 100 кв и дающий разрешение до 10^{-7} см. В соединенных друг с другом цилиндрах, показанных на фотоснимке, находятся магнитные линзы. Источник электронов расположен сверху, а увеличенное окончательное изображение объекта можно видеть на флуоресцирующем экране в нижней части прибора. Для получения фотоснимков надо помещать фотопластинки в этой плоскости. Фокусировка производится посредством изменения силы тока в магнитных линзах. (Лаборатория вирусов Калифорнийского университета в Беркли)

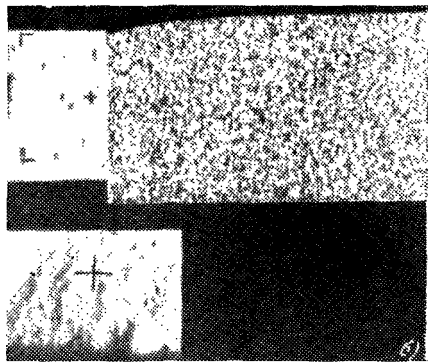
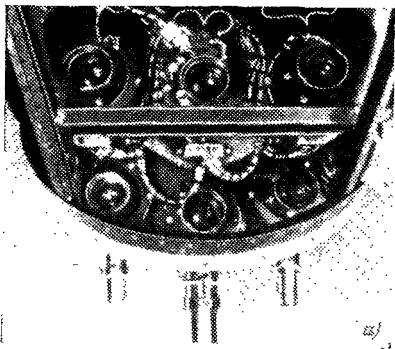


Рис. 1.30. Полет «Рейнджера» на Луну. 31 июля 1964 г. после полета продолжительностью 68 часов космический корабль «Рейнджер-7» разбился при прилунении. Снимки, полученные в течение последних 10 минут полета, когда «Рейнджер» приближался к Луне со скоростью 9600 км/час, передавались на Землю телевизионным передатчиком. Черные отметки на этих снимках дают возможность определить их масштаб.

а) Общий вид шести телевизионных камер (двух широкоугольных и четырех узкоугольных), установленных на «Рейнджере-7» для съемки поверхности Луны.

б) *Последние кадры.* Сверху — север. *Верхний снимок.* Высота 305 м. Этот кадр был последним, переданным камерой Р-3 (фокусное расстояние 25 мм, относительное отверстие 1:1) к тому моменту, как «Рейнджер-7» прилунился. Космический корабль разбился при передаче кадра, в результате этого приемник дал картину шумов, показанную справа. Площадь размерами 30×18 м² снята на кадре с разрешением, в 1000 раз лучшим, чем при наблюдениях с Земли. Самые маленькие кратеры имеют диаметр около 90 см и глубину около 30 см. *Нижний снимок.* Высота около 915 м. Снимок, на котором показана площадь со стороной около 30 м, был сделан камерой Р-1 (фокусное расстояние 75 мм, относительное отверстие 1:2) с частичным разложением изображения. Многие из показанных кратеров имеют округленные склоны, в противоположность более крупным лунным кратерам.

Приборы для физических исследований

На стр. 41—44 показаны фотоснимки некоторых приборов и установок, применение которых значительно способствовало прогрессу физических наук (рис. 1.22—1.30).