22.6г
П48

Проф. К. Д. Покровскій.

Курсъ космографіи

для среднихъ учебныхъ заведеній

Съ дополнительной статьей „Практическія упражненія по космографіи", двумя картами—звѣзднаго неба и эклиптическихъ созвѣздій—и рисунками въ текстѣ.

Восьмое исправленное изданіе.

Учебникъ удостоенъ **преміи** Высокопреосвященнаго Макарія, Митрополита Московскаго.

Учен. Ком. Мин. Нар. Просв. **допущенъ** въ качествѣ **учебнаго руководства** для среднихъ учебныхъ заведеній.
(Ж. М. Н. Пр. Февраль 1911 г.).

Учебн. Ком. Мин. Торг. и Промышл. **рекомендовано** въ качествѣ **учебнаго руководства** въ коммерческихъ училищахъ.
(Отн. за № 832 отъ 25 февраля 1909 г.).

Учебн. Ком. при Св. Синодѣ **допущено** въ качествѣ **учебнаго руководства** въ духовныя семинаріи и въ 7-мь классн. женск. епарх. училища.
(Церковн. Вѣд. № 6, 1910 г.).

Главнымъ Управленіемъ Военно-Учебныхъ Заведеній **рекомендовано** въ качествѣ **учебника** для кадетскихъ корпусовъ.
(Отн. за № 26295 отъ 3 ноября 1909 г.).

Главн. Упр. Земл. и Землед. **допущено** въ качествѣ **учебнаго пособія** въ подвѣдомственныхъ Гл. Упр. среднихъ учебныхъ заведеніяхъ.
(Отн. за № 327 отъ 23 марта 1909 г.).

Изданіе Пироговскаго Товарищества. Кіевъ.
1916.

Проф. К. Д. Покровскій

КУРСЪ КОСМОГРАФІИ

для среднихъ учебныхъ заведеній

Съ дополнительной статьей „Практическія упражненія по космографіи“, **двумя картами** —звѣзднаго неба и эклиптическихъ созвѣздій—и **213 рисунками** въ текстѣ

8-е исправленное изданіе

Учебникъ удостоенъ **преміи** Высокопреосвященнаго Макарія Митрополита Московскаго

Учен. Ком. Мин. Нар. Просв. **допущено** въ качествѣ **учебнаго руководства** для среднихъ учебныхъ заведеній.
(Ж. М. Н. 1916 г.)

Учебн. Ком. Мин. Торг. и Пром. **рекомендовано** въ качествѣ **учебнаго руководства** въ коммерческихъ училищахъ
(Отн. за № 832 отъ 25 февраля 1909 г.)

Учебн. Ком. при Св. Синодѣ **допущено** въ качествѣ **учебнаго руководства** въ духовныя семинаріи и въ женскія духовныя училища (Отн. за 324 отъ 25 января 1913 г.).

Главн. Упр. Военно-Учебн. Завед. **рекомендовано** въ качествѣ **учебника** для кадетскихъ корпусовъ.
(Отн. за № 26295 отъ 3 ноября 1909 г.)

Глав. Земл. и Землед. **допущено** въ качествѣ **учебнаго пособія** Гл. Упр. среднихъ учебныхъ заведеній
(Отн. за № 2146 отъ 27 ноября 1913 г.)

1916

Оглавленіе

Глава I —**Предметъ космографіи Что даютъ намъ непосредственныя наблюденія** Форма земли. Видимый и истинный горизонтъ Размѣры земного шара. Небесный сводъ Рефракція Заря. Сумерки. Звѣздное небо. Свѣтила, перемѣщающіяся между звѣздами . . . . . 1—10

Глава II.—**Суточное движеніе небеснаго свода.** Гномонъ Небесная сфера . . . . . 10—15

Глава III —**Измѣренія на небѣ.** Угловыя разстоянія. Азимутъ, высота, зенитное разстояніе. Универсальный инструментъ Склоненіе, прямое восхожденіе. Экваторіалъ . . . . . 15—21

Глава IV —**Звѣздное время.** Моментъ кульминаціи свѣтила. Поправка часовъ. Пассажный инструментъ. Меридіанный кругъ. 21—27

Глава V —**Видимое движеніе солнца.** Эклиптика. Измѣненіе склоненія и прямого восхожденія солнца. Зодіакальныя созвѣздія Эклиптическія координаты. Поворотные круги (тропики) . . . . . 27—31

Глава VI.—**Истинное и среднее солнечное время.** Солнечные часы . . . . . 31—33

Глава VII.—**Лѣтосчисленіе.** Тропическій годъ. Юліанскій календарь. Григоріанскій календарь . . . . . 33—35

Глава VIII.—**Суточное движеніе небеснаго свода** явленіе кажущееся. Вращеніе земли. [Николай Коперникъ]. Земные полюсы, экваторъ, меридіанъ. Географическія координаты (широта и долгота) . . . . . 35—39

Глава IX.—**Опредѣленіе широты мѣста.** Высота свѣтила въ меридіанѣ. **Опредѣленіе географической долготы.** Граница даты. Практическое значеніе астрономіи Секстантъ. Видъ неба подъ различными широтами. Незаходящія и невосходящія звѣзды . . . . . 39—48

Глава X —**Географическія и звѣздныя карты.** Ортографическая проекція Стереографическая проекція. Проекція Меркатора. Коническая проекція. Земной глобусъ. Звѣздныя карты. Небесный глобусъ . . . . . 48—53

Глава XI.—**Истинная фигура земли.** Градусное измѣреніе Эратосѳена. Тріангуляція. [Вильгельмъ Струве]. Размѣры земного эллипсоида . . . . . 53—56

Глава XII —**Доказательства вращенія земли.** Форма земли Уменьшеніе силы тяжести у экватора. Маятникъ Фуко. [Галилей]. Отклоненіе падающихъ тѣлъ къ востоку. Пассаты 56—61

Глава XIII —**Параллаксъ.** Разстояніе луны и солнца отъ земли. Угловой радіусъ свѣтила. Размѣры луны и солнца 62—65

Глава XIV —**Движеніе земли около солнца.** Времена года. Земные пояса. Орбита земли . . . . . 65—67

Глава XV —**Доказательства движенія земли около солнца.** Годичный параллаксъ звѣздъ. [Ф Бессель] Аберрація свѣта 67 72

Глава XVI. **Собственное движеніе луны** Покрытіе звѣздъ Фазы луны. Пепельный свѣтъ. Синодическій и сидерическій мѣсяцы. Орбита луны. Вращеніе луны. Либрація луны . . . 72—78

Глава XVII.—**Лунное затменіе. Солнечное затменіе.** . . 79—84

Глава XVIII.—**Планеты**—звѣзды блуждающія. Движенія Меркурія и Венеры. Движенія Марса, Юпитера и Сатурна. Система Птоломея и Коперника. Объясненіе попятныхъ движеній. (Планеты внутреннія и внѣшнія). Вычисленіе разстояній планетъ отъ солнца. [Кеплеръ]. Законы Кеплера . . . . . 84—91

Глава XIX.—[Исаакъ Ньютонъ]. **Основные законы движенія.** Движеніе планетъ объясняется притяженіемъ солнца. Движеніе луны объясняется притяженіемъ земли. Законъ всемірнаго тяготѣнія. Законы Кеплера есть слѣдствіе закона Ньютона. Понятіе о возмущеніяхъ. Открытіе Нептуна. Опредѣленіе массъ планетъ. Плотность земли. **Приливы и отливы.** Прецессія. Нутація. Небесная механика. . . . . 91—106

Глава XX.—**Солнечная система** . . . . . 106—109

Глава XXI.—**Солнце.** Вращеніе солнца. Грануляція. Пятна и факелы. Періодичность солнечныхъ пятенъ и факеловъ. Атмосфера солнца. Солнечная корона. Протуберансы. Температура солнца. Солнечная энергія . . . . . 109—113

Глава XXII.—**Планеты и спутники ихъ**. Меркурій. Венера. Луна. Вращеніе луны. Атмосфера. Поверхность. Марсъ. Малыя планеты или астероиды. Юпитеръ. Система Юпитера. Сатурнъ, его кольца и спутники. Уранъ и Нептунъ. Зодіакальный свѣтъ. 114—125

Глава XXIII.—**Кометы**. Періодическія кометы. Изслѣдованія Бредихина. Падающія звѣзды, болиды и метеориты. Высота возгоранія. Составъ метеоровъ. Звѣздные дожди. Связь падающихъ звѣздъ съ кометами. [Проф. Ѳ. А. Бредихинъ] . . 125 135

Глава XXIV.—**Звѣздный міръ**. Число звѣздъ. Яркость звѣздъ. Разстояніе звѣздъ. Природа звѣздъ. Собственныя движенія звѣздъ. Движеніе солнечной системы въ пространствѣ. Двойныя звѣзды. Перемѣнныя звѣзды. Новыя звѣзды. Звѣздныя скопленія и туманности. Млечный путь. [Вильгельмъ Гершель]. Строеніе вселенной 135 143

Приложеніе первое.—Эллипсъ. Парабола. Гипербола. Коническія сѣченія. Эллипсоидъ. 143 145

Приложеніе второе.—Практическія упражненія по космографіи . . . . . 146—157

Таблицы.—Широты и долготы главнѣйшихъ населенныхъ мѣстъ Россійской Имперіи и нѣкоторыхъ иностранныхъ обсерваторій. Положенія главнѣйшихъ звѣздъ, звѣздныхъ скопленій и туманностей. Таблицы большихъ планетъ. Таблицы солнца, луны и спутниковъ планетъ. . . . . 158 -164

Звѣздная карта

Карта эклиптическихъ созвѣздій

Глава I —**Предметъ космографіи. Что даютъ намъ непосредственныя наблюденія**

Предметъ космографіи Космографія—значитъ описаніе вселенной (по-гречески κόσμος—міръ, вселенная, γράφω—пишу). Такимъ образомъ въ курсахъ космографіи даются описанія и разъясненія тѣхъ явленій, которыя наблюдаются на различныхъ небесныхъ тѣлахъ, равно, какъ и ихъ движеній.

Форма земли Очень много интереснаго доставляютъ намъ непосредственныя наблюденія Обратимъ, напримѣръ, вниманіе на явленіе восхода солнца. Всякій легко отмѣтитъ, что первые лучи солнца освѣщаютъ наиболѣе высокіе предметы: сначала загораются вершины горъ, блестятъ кресты церквей, и только послѣ постепенно освѣщается то, что находится ниже (рис. 1). Это будетъ и въ томъ случаѣ, когда мѣстность по направленію къ солнцу совершенно ровная, когда на ней нѣтъ возвышенностей, которыя могли бы задерживать солнечные лучи. Отсюда можно заключить, что форма земли **выпуклая.**

Рис. 1.—Восходъ солнца въ Альпахъ.
Освѣщены далекія высокія горы. Ближайшія низкія еще въ тѣни

Лучи свѣта прямолинейны. Когда освѣщается вершина горы—*a* (рис. 2), солнце еще не взошло для *наблюдателя*, находящагося въ точкѣ *b* Это мѣсто земной поверхности еще въ тѣни, потому что до него непосредственно лучи солнца не достигаютъ—они задерживаются выпуклостью земли

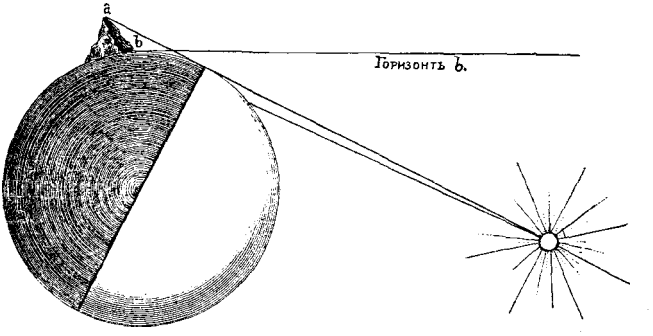


Рис. 2.

Такое же заключеніе мы сдѣлаемъ, наблюдая, какъ уходитъ пароходъ въ море: сначала скрывается корпусъ парохода, но его мачты, труба и дымъ еще видны, потомъ пропадаютъ постепенно и труба, и мачты, и дымъ (рыс. 3), какъ будто бы пароходъ погружается въ воду. Рис. 4-й представляетъ видъ въ подзорной трубѣ исчезающаго изъ нашихъ взоровъ паруснаго судна. Интересно при этомъ, что въ то время, какъ для наблюдателя, находящагося въ точкѣ *в* (рис. 5), корабль уже скрылся, наблюдатель съ вершины горы *а* еще видитъ его.

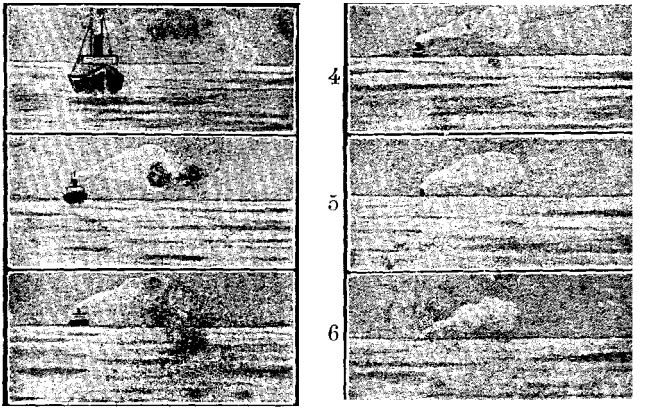


Рис. 3.

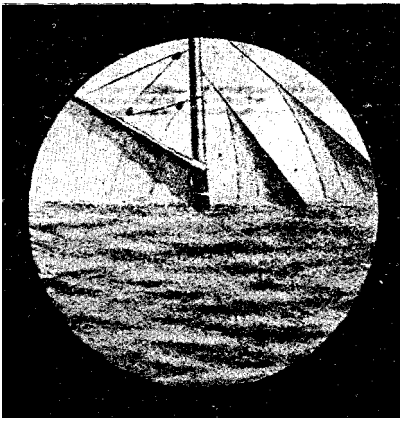


Рис. 4.

Кругосвѣтныя путешествія обнаруживаютъ, что земля представляетъ собой округленное и совершенно **свободное** тѣло въ пространствѣ.

Мы можемъ принять ее просто за шаръ.

Выйдемъ на открытую равнину. Надъ нами поднимается небо въ видѣ купола, который какъ будто бы тамъ далеко прикасается къ землѣ. Это видимое сліяніе небосклона съ землей

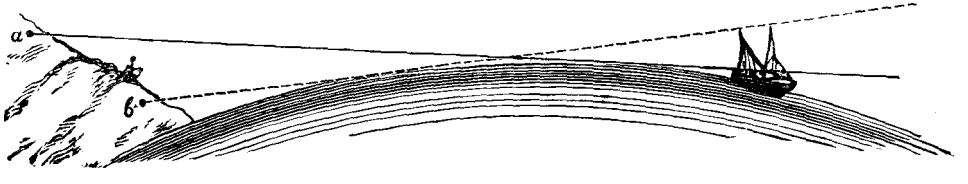


Рис. 5.

происходитъ во всѣхъ направленіяхъ въ одинаковомъ отъ насъ разстояніи. Мы находимся въ центрѣ круга, который называется видимымъ

горизонтомъ (рис. 6). И гдѣ бы на землѣ мы ни были, вездѣ горизонтъ будетъ кругъ. Поднимемся на гору—горизонтъ нашъ будетъ шире

Рис 6 —Часть горизонта на морѣ.

но это будетъ тоже кругъ. Рис. 7-й показываетъ, что такъ и должно быть, если земля шаръ. Нашимъ взорамъ, такимъ образомъ, представляется на открытомъ мѣстѣ поверхность шарового сегмента. Но такъ какъ размѣры этой поверхности въ сравненіи съ поверхностью всего

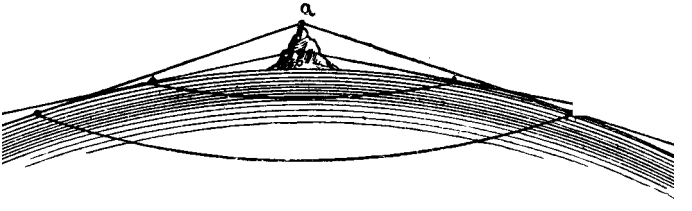


Рис. 7.

шара очень малы, то мы не чувствуемъ при нашихъ обыкновенныхъ наблюденіяхъ ея закругленія и считаемъ ее плоскостью

Горизонтальная поверхность есть поверхность свободной, спокойной жидкости, поверхность озера, моря, океана. Она въ каждомъ данномъ мѣстѣ перпендикулярна направленію силы тяжести, такъ называемому **вертикальному** или **отвѣсному** направленію, которое, въ общемъ случаѣ, если землю принять за шаръ, представляетъ собой направленіе радіуса земного шара

Видимый и истинный горизонтъ —Та часть поверхности земли, которую мы видимъ, находясь въ совершенно открытой мѣстности, называется видимымъ горизонтомъ, плоскость же, проходящая черезъ глазъ наблюдателя перпендикулярно къ отвѣсной линіи въ мѣстѣ

наблюденія, носитъ названіе истиннаго горизонта. Уголъ, который составляетъ съ этой плоскостью касательная къ поверхности земли, называется пониженіемъ горизонта. На рис. 8-мъ это уголъ $\angle CAB = \alpha$

Иногда говорятъ просто—**горизонтъ**, подразумѣвая подъ этимъ окружность, по которой видимо небесный сводъ соприкасается съ поверхностью земли.

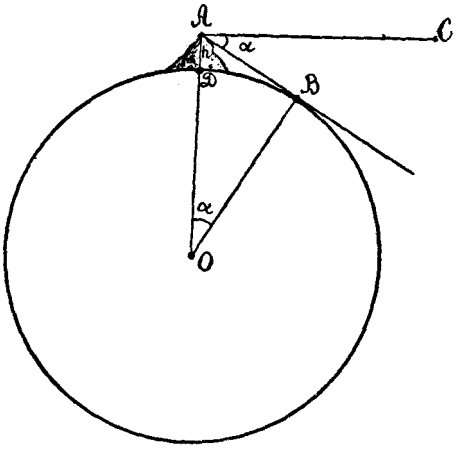


Рис. 8.

Размѣры земного шара Если измѣрить пониженіе горизонта и высоту горы, на которой находится наблюдатель, то можно вычислить радіусъ земного шара.

Изъ прямоугольнаго $\triangle$-ка AOB имѣемъ $OB = AO \cdot \mathrm{Cos}\alpha$ или, если обозначимъ радіусъ земного шара черезъ x, а высоту горы черезъ h, $x = (x+h)\,\mathrm{Cos}\alpha$.

Откуда $x = \dfrac{h\ \mathrm{Cos}\alpha}{1-\mathrm{Cos}\alpha} = \dfrac{h\ \mathrm{Cs}\alpha}{2\ \mathrm{Sn}^2\ \frac{\alpha}{2}}$

Оказывается, что радіусъ земного шара равенъ, приблизительно, **6000 верстъ**. (См. также практич. задачу въ приложеніи).

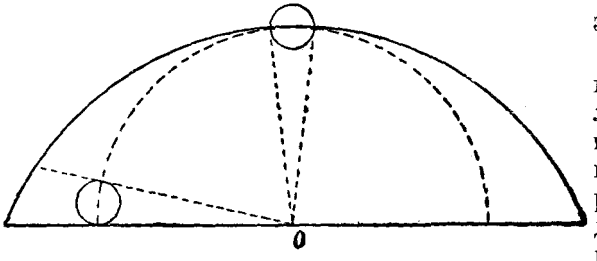


Рис. 9.

Ниже въ главѣ XI-й мы будемъ говорить о болѣе точныхъ измѣреніяхъ, которыя имѣютъ цѣлью выяснить истинную фигуру земли и ея размѣры. Но для всѣхъ приближенныхъ расчетовъ можно пользоваться этимъ числомъ.

Небесный сводъ —Посмотримъ на небо, на которомъ днемъ господствуетъ животворящее солнце, а ночью сіяютъ звѣзды и луна. Ничто непосредственно не даетъ намъ никакихъ указаній на разстоянія свѣтилъ небесныхъ отъ насъ. Мы не чувствуемъ, чтобы одна звѣзда была дальше или ближе другой. Онѣ всѣ кажутся намъ какъ бы прикрѣпленными къ вогнутой поверхности одного свода, на первый взглядъ шарового, но при болѣе внимательномъ наблюденіи, значительно сплюснутаго, расширяющагося у горизонта (рис. 9)

Небо представляется намъ сводомъ и днемъ потому, что лучи солнца отражаются отъ всѣхъ частичекъ воздуха, окружающаго землю. Чѣмъ меньше въ воздухѣ твердыхъ и жидкихъ частичекъ, тѣмъ больше проходитъ синихъ и голубыхъ лучей. Освѣщеніе неба мѣшаетъ намъ видѣть звѣзды, но онѣ, несомнѣнно, на небѣ всегда. Если удалить

большую часть лучей, идущихъ къ намъ со всѣхъ сторонъ небеснаго свода, то тогда и днемъ можно видѣть звѣзды. Такъ видятъ звѣзды днемъ со дна узкаго, но глубокаго колодца; можно видѣть ихъ и в астрономическую трубу.

Рефракція.—Пронизывая нашу атмосферу, лучи свѣтила претерпѣваютъ преломленіе. Чѣмъ ближе къ землѣ, тѣмъ слои воздуха плотнѣе. Поэтому уголъ луча съ вертикальной линіей становится все меньше и меньше, свѣтило кажется намъ выше надъ горизонтомъ, чѣмъ на самомъ дѣлѣ есть (рис. 10). Это явленіе называется рефракціей. Чѣмъ ближе свѣтило къ горизонту, тѣмъ рефракція сильнѣе. Вслѣдствіе рефракціи солнце становится видимымъ раньше того, какъ оно поднимется на самомъ дѣлѣ надъ горизонтомъ. При этомъ верхній край солнца будетъ приподнятъ меньше, чѣмъ нижній,—вслѣдствіе чего свѣтило является не въ видѣ круглаго диска, а въ видѣ овала. То же самое наблюдаемъ мы и при закатѣ (рис. 11)

При вѣтрѣ и большой влажности часто происходятъ при восходѣ и закатѣ солнца различнаго рода искаженія.

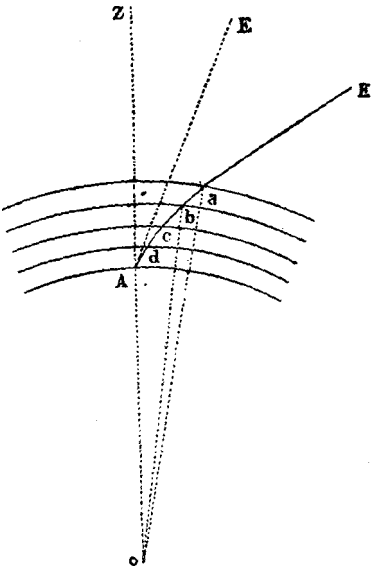


Рис. 10.—Лучъ отъ свѣтила *E* идетъ къ наблюдателю *A* по кривой *EabcdA*. Свѣтило будетъ казаться въ точкѣ *E'* приподнятымъ къ точкѣ *Z*, находящейся надъ головой наблюдателя.

Заря Сумерки Если солнце подъ горизонтомъ, то лучи его не достигаютъ всѣхъ частей видимаго нами небосклона. Передъ восходомъ солнца загорается востокъ, по заходѣ нѣкоторое время остается освѣщеннымъ западъ. Мы наблюдаемъ болѣе или менѣе продолжительную утреннюю и вечернюю зарю По мѣрѣ ослабленія вечерней зари наступаютъ сумерки, а за ними ночь; на небѣ загораются звѣзды, которыя и раньше, днемъ находились на своихъ мѣстахъ, но не были видимы вслѣдствіе яркаго освѣщенія фона.

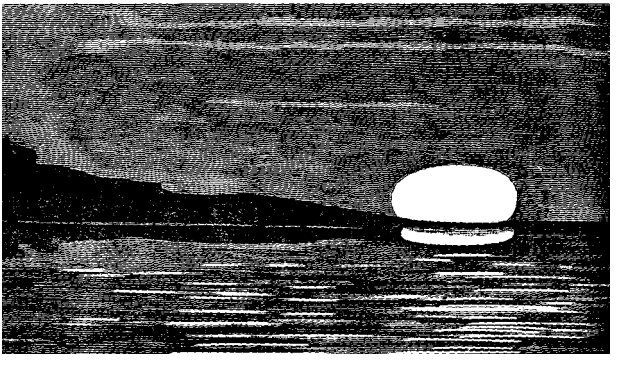


Рис. 11 —Солнце близъ горизонта.

Если бы вокругъ земли не было атмосферы, то не было бы зари и сумерекъ, ночь наступала бы сразу

Наблюдатель въ точкѣ *A* (рис. 12) получаетъ послѣдній лучъ солнца, отраженный въ верхнемъ слоѣ атмосферы. Для точекъ лѣвѣе *A* наступила уже полная ночь. Для наблюдателя въ точкѣ *B* солнце еще на

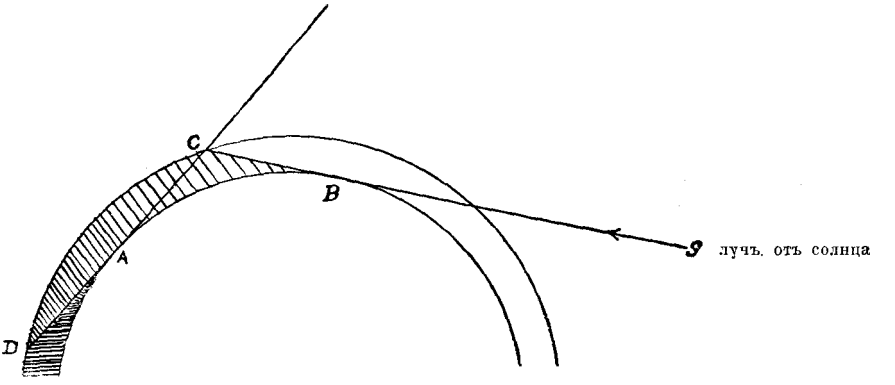


Рис. 12.

горизонтѣ. Для точекъ, находящихся правѣе отъ *B*, еще день. Между *A* и *B*—сумерки тѣмъ гуще, темнѣе, чѣмъ ближе данный пунктъ къ точкѣ *A*

Звѣздное небо.—Въ темную безлунную ночь звѣздъ на небѣ кажется безчисленное множество. Но это только кажется. Попробуйте пересчитать звѣзды—это возможно. Вы насчитаете ихъ на видимой полусферѣ неба всего тысячи три.

При внимательномъ обозрѣніи неба вы легко отмѣтите разницу въ блескѣ и цвѣтѣ звѣздъ. Обратите вниманіе на мерцаніе, выдѣлите и тѣ фигуры, которыя составляютъ звѣзды въ томъ или другомъ мѣстѣ неба такъ называемыя созвѣздія. Замѣчательно, что фигуры эти постоянны. Звѣзды не измѣняютъ своего положенія относительно другъ друга, а потому и называются неподвижными, въ отличіе отъ другихъ свѣтилъ, которыя перемѣщаются на небѣ относительно звѣзд

Сколько вѣковъ смотритъ человѣчество на небо! Но тѣ созвѣздія, которыя выдѣлены въ глубокой древности, все еще сохраняютъ свою форму. Ихъ названія передавались отъ одного народа къ другому. Во многихъ случаяхъ они имѣютъ связь съ миѳологіей. Вотъ, напримѣръ, созвѣздіе Оріона-охотника, со шкурой и палицей (рис. 13). Семь мѣсяцевъ преслѣдовалъ Оріонъ дочерей Атланта, такъ называемыхъ Плеядъ Боги сжалились надъ бѣдными Плеядами, обратили ихъ въ голубей, а потомъ взяли на небо въ видѣ звѣздъ. Эта группа находится въ созвѣздіи Тельца.

Подъ ногами Оріона лежитъ его собака Сиріусъ. Теперь это созвѣздіе зовется Большимъ Псомъ, а названіе Сиріуса осталось за наиболѣе яркой звѣздой въ немъ.

Извѣстное созвѣздіе Большой Медвѣдицы представляетъ группу звѣздъ, по которымъ можно вычертить фигуру звѣря (рис. 14) Греческій миѳъ соединяетъ съ нимъ судьбу несчастной Каллисто, которую Гера обратила въ медвѣдицу

Конечно, тѣ формы, на которыя указываютъ названія созвѣздій могутъ быть выдѣлены только съ помощью фантазіи. Теперь мы отличаемъ созвѣздія одно отъ другого скорѣе по упрощеннымъ геометрическимъ фигурамъ Такъ въ Большой Медвѣдицѣ мы выдѣляемъ только семь наиболѣе яркихъ звѣздъ, которыя образуютъ форму ковша. Оріона узнаемъ по фигурѣ большой буквы X и т. д. Но названія созвѣздій сохранились, хотя и потеряли для насъ тотъ смыслъ, который они имѣли для древняго египтянина, халдеянина и грека. Мы принимаемъ ихъ въ условномъ смыслѣ для удобства.

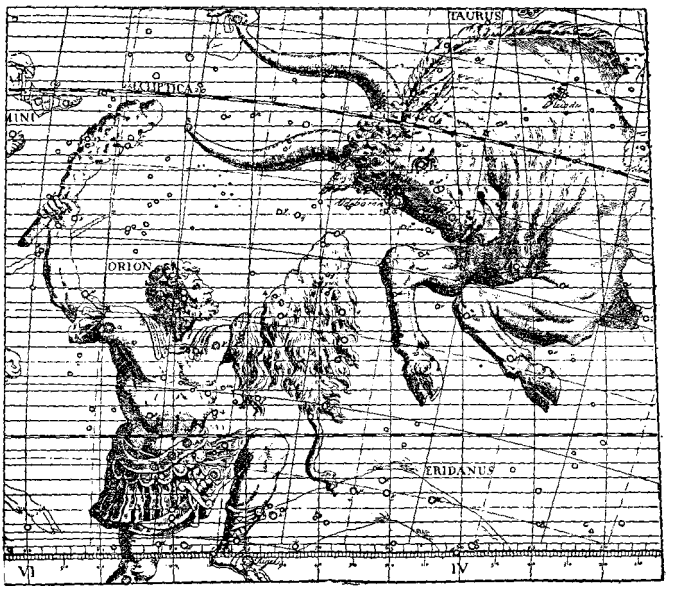


Рис. 13.

Многимъ отдѣльнымъ звѣздамъ даны были имена. Но теперь названія употребляются только для нѣкоторыхъ, наиболѣе замѣчательныхъ, какъ напр.: Альголь въ созвѣздіи Персея, Альдебаранъ въ созв. Тельцѣ Арктуръ въ созв. Волопаса, Вега въ созв. Лиры, Капелла въ созв. Возничаго, Мицаръ—въ созв. Большой Медвѣдицы, Кастор ъ и Поллуксъ въ созв. Близнецовъ Вообще же для обозначенія звѣздъ предпочитаютъ буквы греческаго алфавита или даже просто номера.

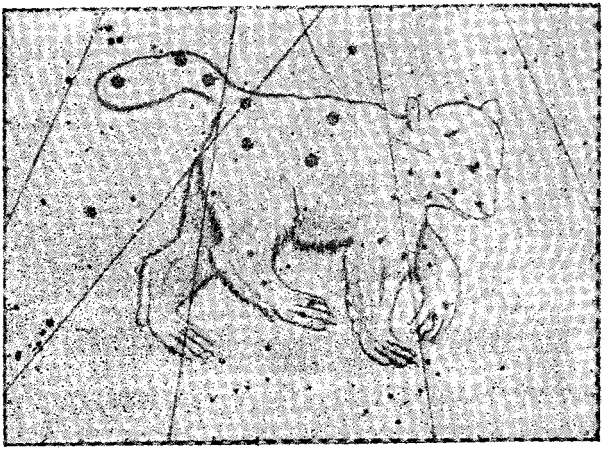


Рис. 14.

Для тѣхъ, кто пожелалъ бы изучить небо подробнѣе, можно посовѣтовать начинать созвѣздія Большой Медвѣдицы, которое всязнакомо

Если соединить звѣзды: альфу и бэту этого созвѣздія прямой и эту прямую въ сторону альфы на разстояніе, въ 5 разъ

большее, то мы встрѣтимъ довольно яркую звѣзду такъ называемую альфу Малой Медвѣдицы (рис. 15). Созвѣздіе Малой Медвѣдицы узнается тоже по фигурѣ ковша, у котораго только ручка изогнута иначе, чѣмъ въ ковшѣ Большой Медвѣдицы (рис. 16).

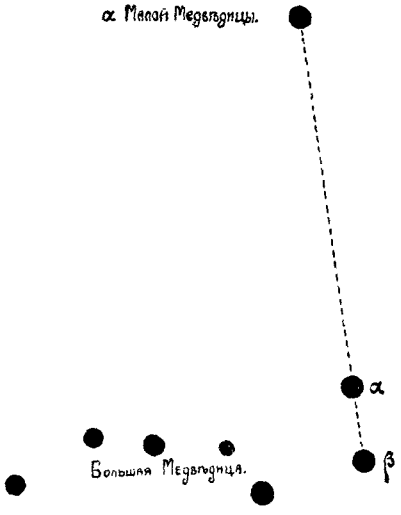


Рис. 15.

А дальше за Малой Медвѣдицей, симметрично съ Большой, будетъ созвѣздіе Кассіопеи, въ которомъ можно выдѣлить фигуру нѣсколько растянутой буквы W.

Между Медвѣдицами вьется лентой Драконъ, головой своей обращенный къ созвѣздію Лиры; рядомъ съ одной стороны Лебедь, съ другой—Геркулесъ и т. д.

Съ помощью карты, приложенной въ концѣ книги, переходя отъ созвѣздія къ созвѣздію, можно изучить все небо, доступное наблюденію въ данное время.

Интересно прослѣдить очертанія Млечнаго Пути—этой широкой матовой полосы, которая тянется черезъ созвѣздія Орла, Змѣеносца, Лебедя, Кассіопеи, Персея, Возничаго, Близнецовъ и т. д.

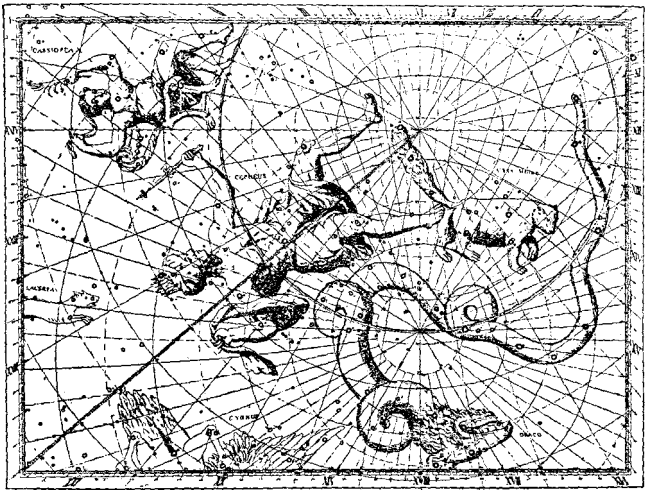


Рис. 16.

Свѣтила, перемѣщающіяся между звѣздами. — Когда увидите луну на небѣ, попробуйте замѣтить, какая звѣзда къ ней ближе. Посмотрите на луну на слѣдующій день вы увидите, что она уже далеко налѣво отъ этой звѣзды; еще на слѣдующій—она уйдетъ еще дальше.

Подобнымъ образомъ, только гораздо медленнѣе, перемѣщаются нѣкоторыя звѣзды. Мы называемъ ихъ, какъ и греки, планетами, т. е. звѣздами блуждающими, въ отличіе отъ остальныхъ, которыя зовутся неподвижными, потому что онѣ не смѣщаются относительно другъ друга (рис. 17).

Наиболѣе яркія планеты: Меркурій, Венера, Юпитеръ, Марсъ

Сатурнъ. Чтобы узнать, гдѣ въ данное время находится та или другая планета, надо обратиться къ астрономическому календарю *)

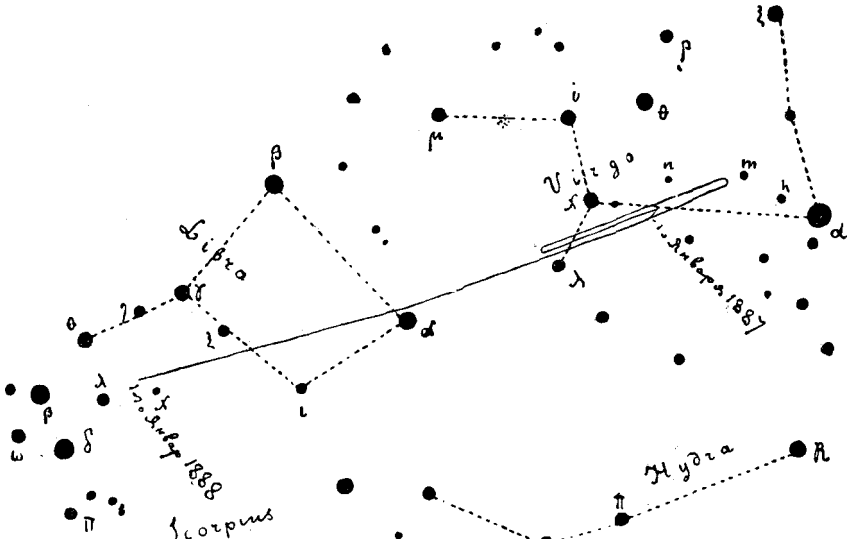


Рис. 17.—Видимый путь Юпитера на небѣ въ 1887- 1888 гг. по созвѣздіямъ: Дѣвы (Virgo) и Вѣсовъ (Libra)

Такъ же, какъ луна, перемѣщается между звѣздами и солнце. Только движенія его непосредственно нельзя видѣть. Яркіе лучи солнца, освѣщая атмосферу земли, дѣлаютъ невидимыми звѣзды, окружающія наше дневное свѣтило. О томъ, какъ выяснить движеніе солнца на небѣ между звѣздами, мы скажемъ ниже. (Глава V). Здѣсь же отмѣтимъ, что вслѣдствіе движенія солнца между звѣздами мы видимъ лѣтомъ не тѣ созвѣздія, которыя доступны нашимъ наблюденіямъ зимой.

Иногда на небѣ бываютъ видны совершенно особаго вида свѣтила съ туманной головой и хвостомъ той или иной формы.—Это такъ называемыя косматыя звѣзды—кометы. Появляются онѣ большей частью неожиданно и бываютъ видимы нѣсколько дней или недѣль, при чемъ перемѣщенія ихъ между звѣздами часто довольно значительны (рис. 18).

Конечно, каждому приходилось видѣть, какъ вдругъ пролетитъ по небу звѣздочка. Не думайте, что это упала звѣзда изъ какого-либо

*) На русскомъ языкѣ издается астрономическій календарь Нижегородскимъ Кружкомъ Любителей Физики и Астрономіи: «Русскій астрономическій календарь» на соотвѣтств. годъ и Русскимъ Астрономическимъ Обществомъ Астрономическій

созвѣздія на небѣ. Всѣ тѣ, которыя входили въ составъ его, цѣлы и попрежнему сіяютъ на своемъ мѣстѣ. Пролетѣло и сгорѣло въ нашей

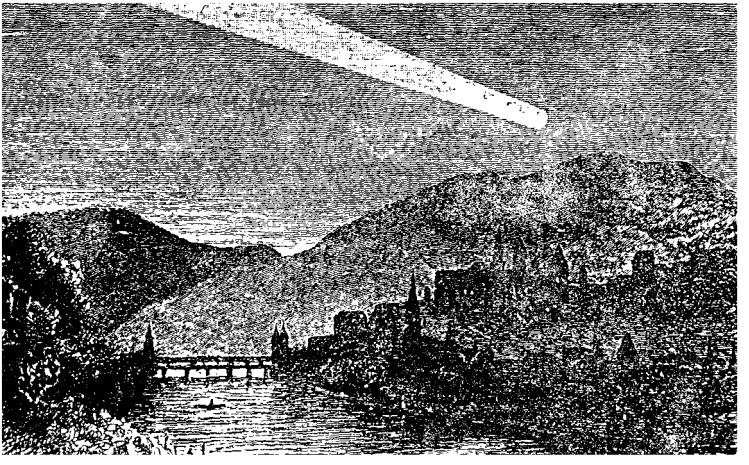


Рис. 18 Большая комета 1843 г.

атмосферѣ небольшое тѣльце, о природѣ котораго скажемъ главѣ XXIII-ей

Глава II **Суточное движеніе небеснаго свода Небесная сфера**

Суточное движеніе небеснаго свода Всякій знаетъ, какъ восходитъ солнце, какъ поднимается оно все выше и выше, достигаетъ въ полдень наибольшей высоты и потомъ начинаетъ опускаться къ горизонту. Многіе, конечно, обращали вниманіе на восходъ луны, но не всѣ представляютъ, что такъ же, какъ солнце и луна, перемѣщаются надъ горизонтомъ звѣзды. А между тѣмъ, это чрезвычайно важное и интересное явленіе. Необходимо каждому уяснить его по непосредственному личному наблюденію

Замѣтимъ звѣзду около какой-либо трубы, вѣтки дерева, флагштока или колокольни далекой церкви. Придемъ на то же мѣсто, съ котораго мы смотрѣли, черезъ полчаса. Мы увидимъ, что звѣзда значительно смѣстилась направо (рис. 19 и 20)

Это не значитъ, что звѣзда отошла отъ тѣхъ, съ которыми она была въ сосѣдствѣ. Фигура созвѣздія остается, какъ уже упомянуто выше, всегда одна и та же, но всѣ звѣзды, сохраняя свое относитель-

ное расположеніе на небѣ, видимо перемѣстились относительно горизонта. Всѣ свѣтила восходятъ съ одной стороны, такъ называемой восточной, всѣ они достигаютъ наибольшей высоты въ одной и

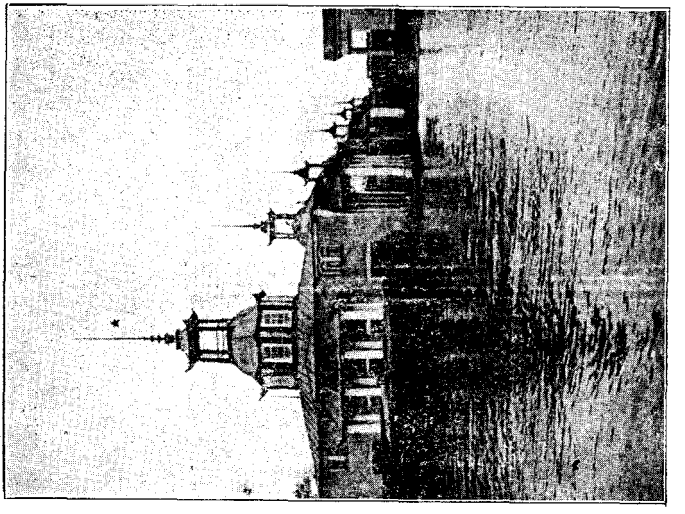


Рис. 20.—Второе наблюденіе: звѣзда направо отъ шпица и выше.

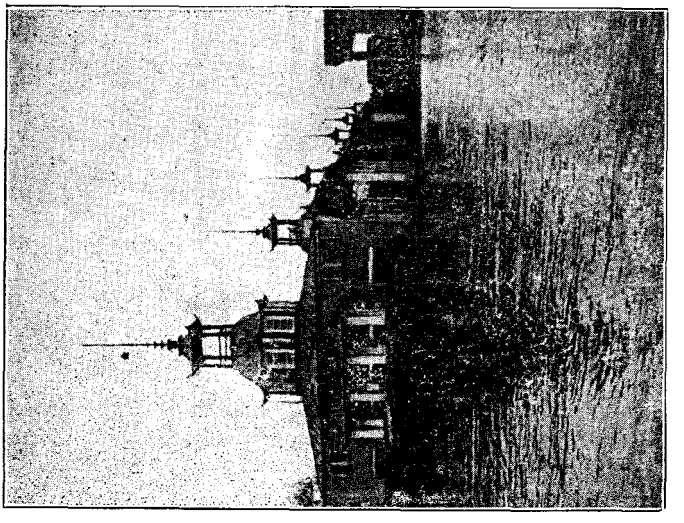


Рис. 19.—Первое наблюденіе: звѣзда налѣво отъ шпица

той же плоскости въ южной части небосклона, всѣ заходятъ на западѣ. Высота поднятія надъ горизонтомъ неодинакова для нихъ, и дуги, которыя они описываютъ, различны. Но важно, что плоскости въ которыхъ видимо перемѣщаются свѣтила, всѣ параллельны, и время полнаго оборота для каждаго свѣтила одно и то же

Видимое перемѣщеніе свѣтилъ относительно горизонта происходитъ такимъ образомъ, какъ будто бы всѣ они были прикрѣплены къ

небесному своду, и этотъ сводъ, какъ одно цѣлое, вращается около нѣкоторой оси. Проведите мысленно линію, перпендикулярную плоскостямъ, въ которыхъ видимо перемѣщаются звѣзды, вы и получите ось вращенія небеснаго свода—такъ называемую ось міра. Точки пересѣченія этой линіи съ небеснымъ сводомъ неподвижны. Онѣ зовутся полюсами. Одинъ изъ нихъ—сѣверный—выше нашего горизонта, другой—южный—подъ горизонтомъ, въ южномъ полушаріи. Полюсы ничѣмъ на небѣ не отмѣчены. Это—воображаемыя точки. Но близъ нашего сѣвернаго полюса находится яркая звѣзда—альфа Малой Медвѣдицы, которая потому и называется Полярной.

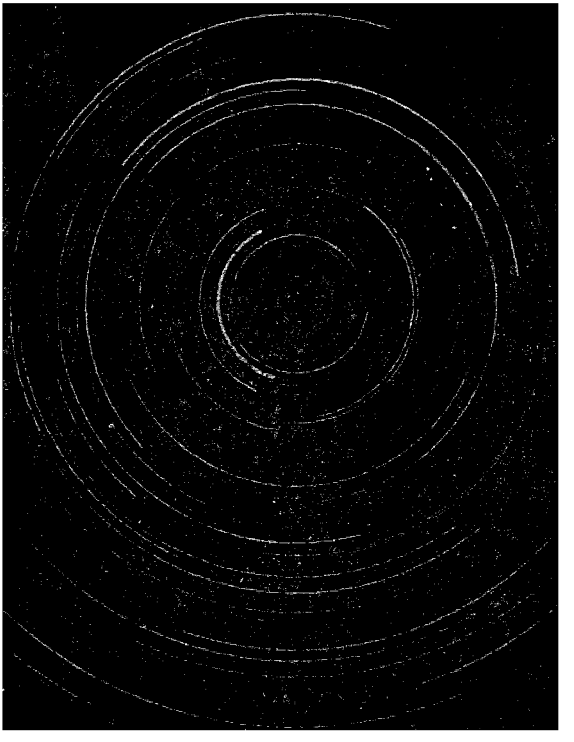


Рис. 21

Если вы нашли эту звѣзду по способу, указанному выше на стр. 8-й, то вы сразу и получите приближенное направленіе оси міра—это линія отъ вашего глаза къ Полярной.

При полномъ оборотѣ небеснаго свода Полярная опишетъ около истиннаго полюса небольшой кругъ. Звѣзда, отстоящая отъ полюса дальше, опишетъ кругъ большій. Если направить на Полярную звѣзду фотографическую камеру и оставить ее открытой на нѣсколько часовъ неподвижно, то на фотографической пластинкѣ мы получимъ рядъ дугъ, имѣющихъ общій центръ. Это—слѣды звѣздъ, отстоящихъ на различныхъ разстояніяхъ отъ полюса и имѣющихъ различную яркость (рис. 21)

Мы не можемъ прослѣдить полнаго оборота Полярной и сосѣднихъ съ нею звѣздъ, потому что звѣзды днемъ не видны, хотя онѣ, конечно, остаются на небѣ. Но въ томъ, что эти звѣзды дѣлаютъ полный оборотъ, мы не сомнѣваемся.

Время полнаго оборота для всѣхъ звѣздъ одно и то же Это—естественная единица для измѣренія времени **сутки** Поэтому путь звѣзды на небѣ называется суточной параллелью

Введемъ нѣсколько терминовъ.

Точка на небесномъ сводѣ, находящаяся какъ разъ надъ головой наблюдателя, называется з е н и т о м ъ *Z* Плоскость, проходящая черезъ зенитъ, полюсъ и глазъ наблюдателя, получила названіе **меридіана**. Это очень важная плоскость. Проходя черезъ нее, свѣтило достигаетъ въ своемъ суточномъ движеніи наибольшей и наименьшей высоты надъ горизонтомъ Солнце мы видимъ въ ней въ полдень. Поэтому и линія пересѣченія меридіана съ плоскостью горизонта называется п о л у д е н н о й л и н і е й. По этой линіи ложится въ полдень тѣнь отъ вертикальной палки (рис. 22).

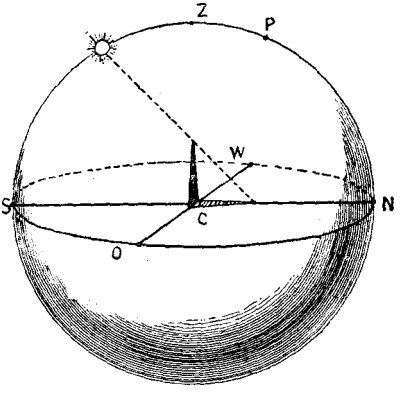


Рис. 22

Гномонъ. — Вертикальный столбъ, отбрасывающій тѣнь отъ солнца, представляетъ собой простѣйшій и древнѣйшій астрономическій инструментъ, такъ называемый г н о м о н ъ (рис. 23). Съ помощью гномона еще въ древнемъ Египтѣ и Китаѣ были сдѣланы очень важныя наблюденія

Задача 1 —Показать, какъ для даннаго мѣста наблюденія проходитъ плоскость меридіана.

Задача 2 —Провести полуденную линію и замѣтить предметы, расположенные вдоль нея

Точки пересѣченія полуденной линіи съ окружностью горизонта называются точками юга (*S*) и сѣвера (*N*)

Точки, отстоящія отъ нихъ на 90°,—точками востока (*O*) и запада (*W*)

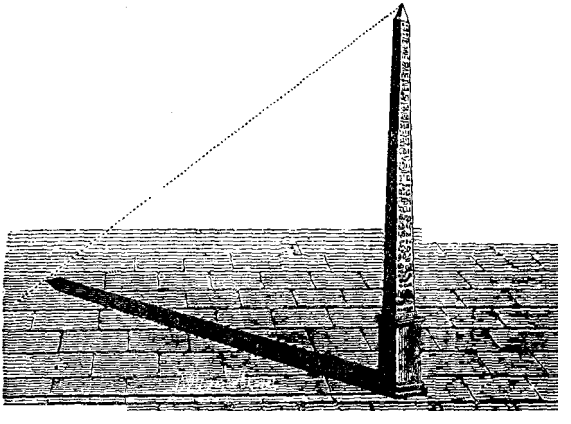


Рис. 23. Гномонъ въ видѣ обелиска

Въ теченіе полнаго оборота около оси міра свѣтило два раза проходитъ черезъ плоскость меридіана: одинъ разъ, поднимаясь всего выше надъ горизонтомъ, другой—опускаясь къ нему всего ниже или даже скрываясь подъ нимъ. Оба эти прохожденія называются **кульминаціями**: первая—верхней кульминаціей, вторая нижней. Нижня кульминація слѣдуетъ за верхней черезъ 12 час.

Задача 3 Во сколько часовъ солнце бываетъ въ нижней кульминаціи?

Задача 4.—Когда Вега (альфа Лиры) будетъ въ нижней кульминаціи, если она въ верхней кульминаціи находилась въ 7 час. 40 мин. вечера?

Большой кругъ, перпендикулярный оси міра, называется **небеснымъ экваторомъ.** Онъ раздѣляетъ небо на два полушарія: сѣверное и южное.

Небесный экваторъ пересѣкаетъ горизонтъ какъ разъ въ точкахъ востока и запада.

Звѣзды, идущія въ суточномъ движеніи по экватору, остаются надъ горизонтомъ 12 часовъ и, слѣдовательно, подъ горизонтомъ тоже 12 часовъ.

Звѣзды южнаго полушарія проходятъ надъ нашимъ горизонтомъ меньшую часть своего суточнаго пути. Восходятъ онѣ между точками востока и юга, заходятъ симметрично между точками юга и запада. Нѣкоторыхъ мы даже совсѣмъ не видимъ ни на одинъ моментъ, онѣ для насъ не восходятъ.

Наоборотъ, звѣзды сѣвернаго полушарія остаются надъ нашимъ горизонтомъ больше 12 часовъ и, чѣмъ дальше онѣ отъ экватора, тѣмъ большую часть своей суточной параллели описываютъ онѣ надъ горизонтомъ, тѣмъ меньшую—подъ горизонтомъ. Восходятъ онѣ къ сѣверу отъ точки востока и заходятъ сѣвернѣе точки запада. Нѣкоторыя звѣзды даже совсѣмъ не опускаются подъ горизонтъ—это звѣзды незаходящія. Если бы можно было видѣть звѣзды днемъ, мы могли бы прослѣдить ихъ перемѣщенія по цѣлому кругу.

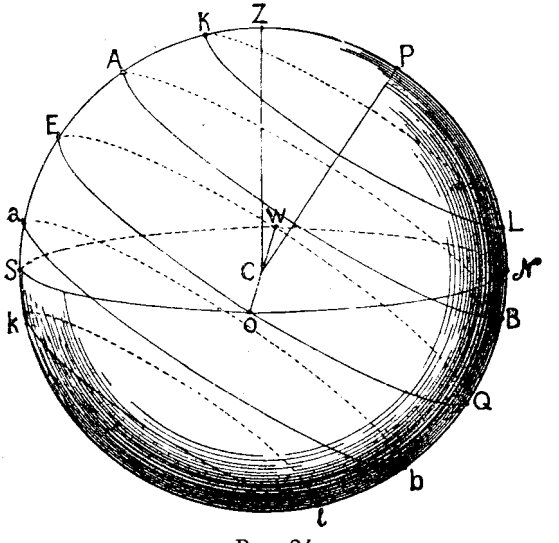


Рис. 24.

Небесная сфера. Тѣ явленія, которыя имѣютъ мѣсто при суточномъ движеніи небеснаго свода, и различнаго рода соотношенія въ положеніяхъ свѣтилъ на небѣ мы можемъ представить съ помощью геометрическаго построенія, которое называется небесной сферой. Возьмемъ шаръ (рис. 24), въ центрѣ котораго *C* воображаемъ глазъ наблюдателя. Изъ этого центра будемъ проводить прямыя, параллельныя различнымъ истиннымъ направленіямъ въ пространствѣ. Пусть *CP* представитъ направленіе оси міра, линія *CZ*—вертикальное направленіе. Точка *P* представитъ

полюсъ, точка *Z*—зенитъ, плоскость *SWNO* горизонтъ, *PZSN* меридіанъ, линія *SN* полуденная линія

EQ экваторъ

ab суточная параллель южной звѣзды.

AB суточная параллель сѣверной звѣзды вообще.

KL суточная параллель звѣзды незаходящей | для даннаго

kl суточная параллель звѣзды невосходящей | горизонта

Задача 5.—Показать на небѣ, какъ *располагается* надъ вашимъ горизонтомъ небесный экваторъ

Глава III.—**Измѣренія на небѣ. Небесныя координаты Универсальный инструментъ Экваторіалъ**

Угловыя разстоянія.—Чтобы можно было сдѣлать болѣе опредѣленные выводы изъ того, что даютъ наблюденія, обыкновенно не ограничиваются непосредственнымъ обозрѣніемъ неба, а стараются ввести мѣру.

Конечно, измѣрять на небѣ нельзя ни аршинами, ни метрами, ни какими-либо другими линейными мѣрами.

Свѣтила небесныя находятся отъ насъ на различныхъ разстояніяхъ, одно ближе, другое дальше. Но глазъ нашъ не можетъ чувствовать этой разницы и относитъ всѣ свѣтила къ одной сферѣ. Радіусъ этой сферы для различныхъ наблюдателей различенъ—это зависитъ отъ особенностей каждаго глаза. Поэтому то, что одному кажется размѣромъ въ сажень, для другого не больше аршина. Въ большой компаніи не трудно встрѣтить рѣзкія противорѣчія, напримѣръ, при наблюденіяхъ луны. Одинъ сравниваетъ ее съ большой суповой тарелкой, другой съ маленькой десертной, для третьяго она кажется не больше чайнаго блюдечка. И каждый изъ этихъ наблюдателей по своему правъ, только оцѣнка ихъ, чисто

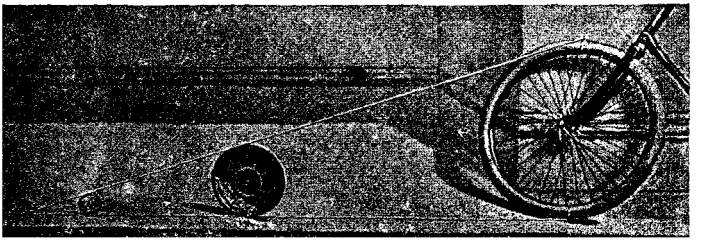


Рис. 25

субъективная, не можетъ имѣть никакого значенія. Другое дѣло—у г о л ъ, подъ которымъ мы видимъ дискъ луны. Онъ для всѣхъ одинаковъ. Рис. 25-й наглядно показываетъ, что одному и тому же углу зрѣнія соотвѣтствуютъ различные линейные размѣры въ зависимости отъ разстоянія, на которомъ находится наблюдаемый предметъ

Какія могутъ происходить ошибки при непосредственной оцѣнкѣ разстояній на небѣ и видимыхъ размѣровъ небесныхъ свѣтилъ станетъ ясно, если мы вспомнимъ, что солнце и луна при восходѣ и заходѣ кажутся намъ гораздо большими, чѣмъ въ томъ случаѣ, если свѣтило находится на значительной высотѣ. У горизонта и созвѣздія кажутся болѣе растянутыми. Если мы присмотримся хорошенько, то замѣтимъ, что небесный сводъ не имѣетъ формы сферы, а нѣсколько сплюснутъ. Какъ будто бы свѣтила и части небосклона, близкія къ горизонту, мы относимъ въ своемъ представленіи на разстояніе большее, чѣмъ тѣ, которыя находятся надъ нашей головой (рис. 9).

Поэтому при измѣреніяхъ разстояній на небѣ, а также видимыхъ размѣровъ свѣтилъ мы употребляемъ только углы. Такъ, напримѣръ, разстояніе между альфой и бэтой Большой Медвѣдицы равно $5^1/_2$ градусовъ, діаметръ луннаго диска—$^1/_2$ градуса.

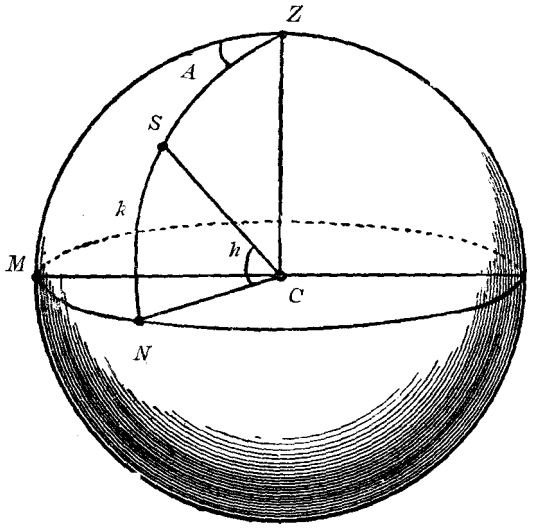


Рис. 26.

Азимутъ, высота, зенитное разстояніе. Очень важная задача опредѣленіе положенія свѣтила на небѣ. Оказывается, для этого достаточно дать два угла. Проведемъ черезъ свѣтило вертикальную плоскость и отмѣтимъ уголъ, который она дѣлаетъ съ плоскостью меридіана.

Этотъ двугранный уголъ A (рис. 26) называется **азимутомъ** свѣтила. Онъ измѣряется дугою окружности горизонта MN.

Если намъ данъ азимутъ, мы будемъ знать, въ какой плоскости искать свѣтило Остается рѣшить только, какъ высоко надо поднять наши взоры Это опредѣляетъ дуга NS, или уголъ луча зрѣнія CS съ горизонтомъ. Этотъ уголъ называется **высотою** свѣтила (h)

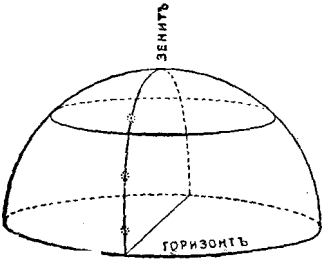


Рис. 27

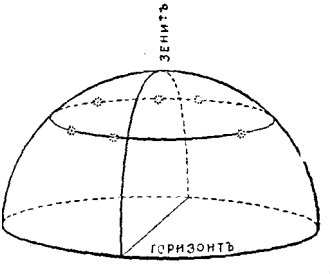


Рис. 28.

Одинъ азимутъ можетъ сразу принадлежать нѣсколькимъ звѣздамъ (рис 27), точно такъ же нѣсколько звѣздъ сразу могутъ находиться на одной высотѣ (рис. 28). Поэтому одного

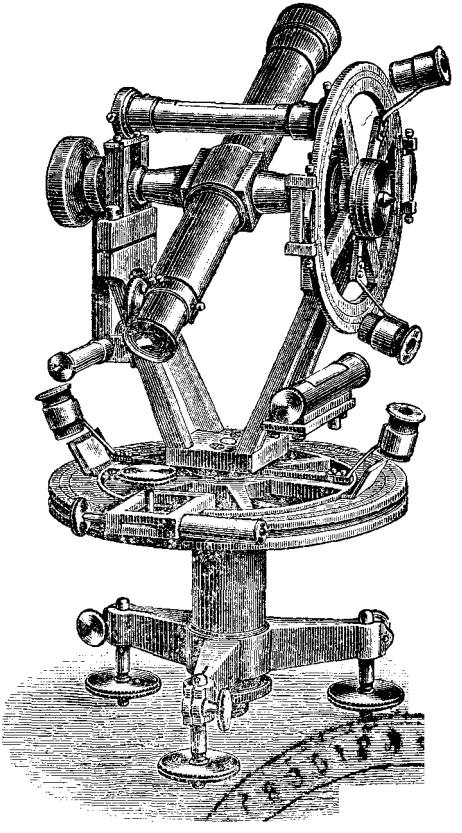
азимута или одной высоты недостаточно для опредѣленія положенія свѣтила на небѣ, но азимутъ и высота вмѣстѣ вполнѣ рѣшаютъ вопросъ Величины, опредѣляющія положеніе точки, въ математикѣ принято называть координатами. Такимъ образомъ, азимутъ и высота представляютъ систему горизонтальныхъ **координатъ** свѣтила —горизонтальныхъ потому, что основной плоскостью въ данномъ случаѣ является плоскость горизонта. Азимуты считаются отъ точки юга въ сторону востока и въ сторону запада отъ 0^0 до 180^0

Высота считается отъ горизонта до зенита въ предѣлахъ отъ 0^0 до 90^0

Вмѣсто высоты можно ввести такъ называемое зенитное разстояніе свѣтила, т. е. дугу ZS, которая равняется дополненію дуги NS до 90^0 (рис. 26). Такимъ образомъ, называя зенитное разстояніе черезъ z, а высоту свѣтила черезъ h, будемъ имѣть соотношеніе

$$z = 90^0 - h.$$

Въ силу суточнаго движенія небеснаго свода высота и азимутъ свѣтила постоянно измѣняются. Въ данный моментъ свѣтило имѣетъ опредѣленный азимутъ и опредѣленную высоту, въ слѣдующій моментъ координаты его будутъ уже другія.



Универсальный инструментъ.— Для измѣренія горизонтальныхъ координатъ употребляется приборъ, который носитъ названіе универсальнаго инструмента (рис. 29). Главныя составныя части этого инструмента –труба и два раздѣленныхъ, взаимно перпендикулярныхъ круга. На горизонтальномъ кругѣ отсчитываются азимуты, на вертикальномъ—высоты (см. приложенія).

Склоненіе, прямое восхожденіе Можно опредѣлить положеніе свѣтила на небѣ и другими координатами, напр., экваторіальными, когда за основную плоскость принимается плоскость небеснаго экватора.

Одна изъ координатъ этой системы называется склоненіемъ, другая прямымъ восхожденіемъ.

Склоненіе—это разстояніе свѣтила, считаемое по

проведенному черезъ свѣтило перпендикулярно экватору, на рис. 30 оно представлено дугой AS

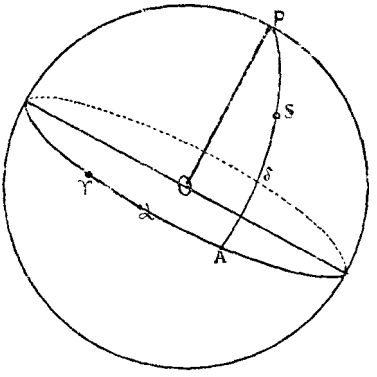


Рис. 30.

Самый кругъ PSA называется кругомъ склоненія.

Прямое восхожденіе—это дуга экватора отъ нѣкоторой опредѣленной точки γ, такъ называемой точки весенняго равноденствія, въ которой солнце бываетъ 8 марта ст. ст. (см. гл. V), до подошвы дуги AS круга склоненія.

Свѣтило можетъ находиться къ сѣверу и къ югу отъ экватора. Условились въ первомъ случаѣ считать склоненіе положительнымъ отъ 0^0 до 90^0, во второмъ—отрицательнымъ отъ 0^0 до -90^0

Обозначается склоненіе буквой δ

Прямое восхожденіе считаютъ обратно движенію часовой стрѣлки кругомъ отъ 0^0 до 360^0 и обозначаютъ буквой α.

Если сравнить вторую систему координатъ съ первой, то будетъ очевидно, что прямое восхожденіе аналогично азимуту, а склоненіе высотѣ

Но въ то время какъ азимутъ и высота свѣтила для различныхъ моментовъ различны, склоненіе и прямое восхожденіе его остаются постоянными. Свѣтило въ суточномъ движеніи небеснаго свода описываетъ на небѣ путь, параллельный экватору, такъ что разстояніе его отъ экватора, т. е. склоненіе, не мѣняется, точно такъ же и разстояніе точки А отъ γ, т. е. прямое восхожденіе, остается одно и то же.

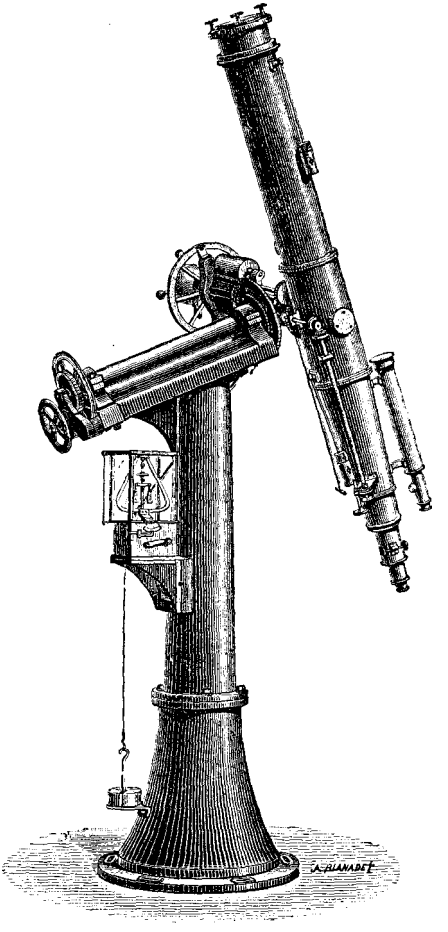


Рис. 31

Экваторіалъ Чтобы получить приборъ для второй системы коор-

динатъ, надо представить себѣ универсальный инструментъ установленнымъ такъ, чтобы его вертикальная ось стала параллельной оси міра Тогда горизонтальный кругъ будетъ параллеленъ плоскости экватора На немъ будутъ отсчитываться прямыя восхожденія, а на кругѣ перпендикулярномъ склоненія.

Такой системы инструментъ называется экваторіаломъ.

Чтобы слѣдить за свѣтиломъ съ помощью трубы, имѣющей, какъ въ универсальномъ инструментѣ, движенія около горизонтальной и вертикальной оси, приходится поворачивать ее направо и измѣнять ея на-

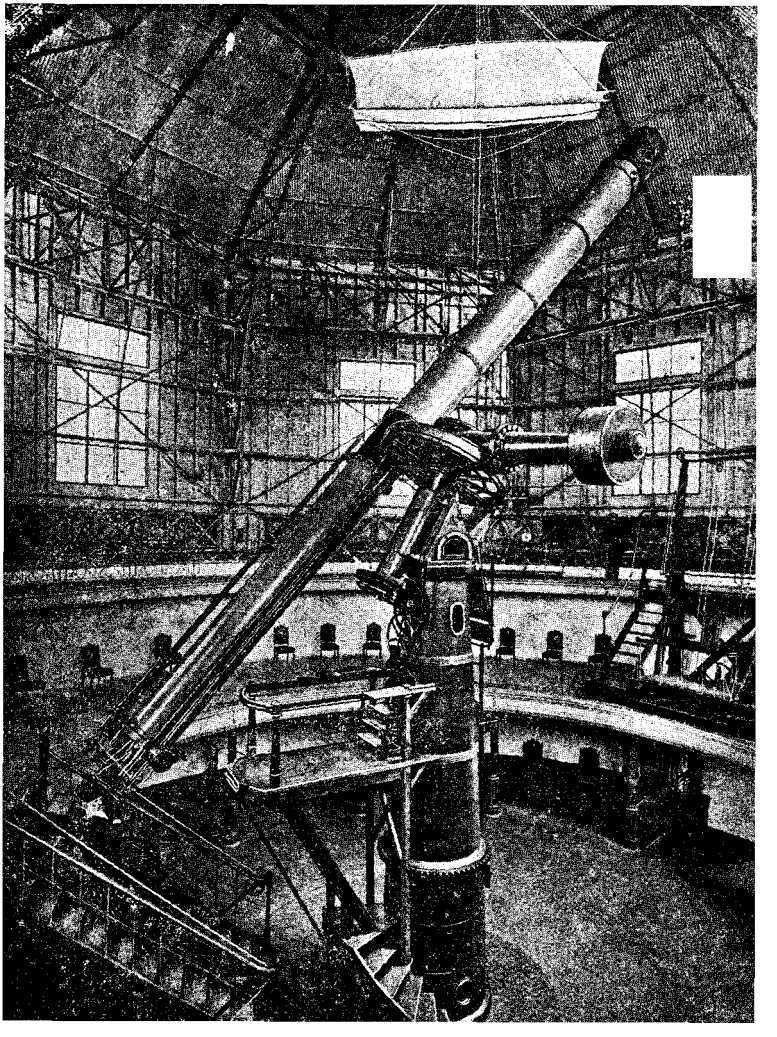


Рис 32 Большой Пулковскій рефракторъ

поднимая, если свѣтило въ восточной части небосклона, и если оно уже прошло меридіанъ

При наблюденіи же съ экваторіаломъ достаточно только одного движенія трубы направо около оси міра, чтобы свѣтило все время оставалось въ полѣ зрѣнія трубы. Труба пойдетъ по кругу, параллельному плоскости экватора, т. е. опишетъ ту же параллель, какъ и звѣзда. По-

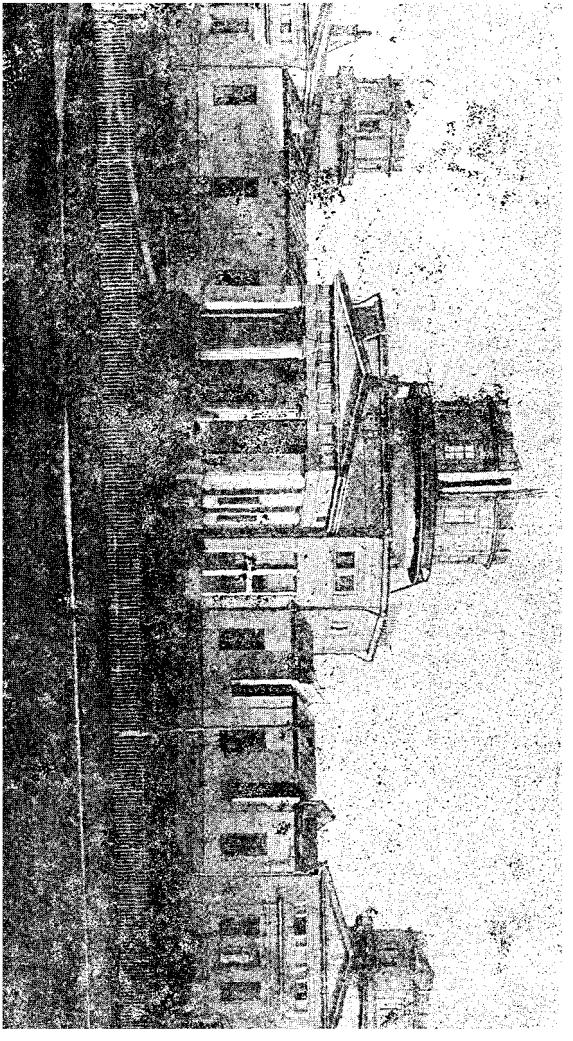


Рис. 33.—**Общій видъ главнаго зданія Пулковской обсерваторіи.**

Башни вращающіяся. Люки средней башни открыты; внутри виденъ рефракторъ (второй по величинѣ на обсерваторіи). Въ залѣ между средней и правой башнями два порѣза по меридіану съ открытыми люками. Большой рефракторъ стоитъ въ отдѣльной башнѣ.

этому экваторіальная или такъ называемая параллактическая установка трубы чрезвычайно удобна для такого наблюденія, когда за свѣтиломъ приходится слѣдить долго. Большія астрономическія трубы обыкновенно имѣютъ параллактическую установку, при чемъ движеніе трубы со-

вершается *ровно, плавно, съ помощью часового механизма*, идущаго согласно съ суточнымъ вращеніемъ небеснаго свода.

На рис. 31-мъ мы имѣемъ образецъ такой установки. Здѣсь двѣ оси: одна наклонная, параллельная оси міра, другая ей перпендикулярна. На концахъ осей круги съ дѣленіями. Съ боку колонны часовой механизмъ, отъ котораго идетъ зубчатая передача къ трубѣ, такъ что послѣдняя, будучи поставлена на опредѣленное склоненіе, можетъ вращаться около оси міра.

На рис. 32 представленъ большой Пулковскій рефракторъ*) съ наблюдателемъ. Инструментъ стоитъ въ башнѣ, верхъ которой вращается такъ, что прорѣзъ, черезъ который направляется труба на небо, можетъ быть поставленъ въ какую угодно сторону (рис. 33)

Глава IV. **Звѣздное время Моментъ кульминаціи свѣтила Поправка часовъ. Пассажный инструментъ Меридіанный кругъ**

Звѣздное время.—Повторимъ то наблюденіе, о которомъ говорили на стр. 10. Прослѣдимъ за движеніемъ какой-либо звѣзды съ опредѣленнаго мѣста, хотя бы изъ окна нашего дома. Замѣтимъ, когда звѣзда спрячется за колокольней далекой церкви или сухой вѣткой какого-либо дерева (рис. 34). Подкараулимъ этотъ моментъ съ того же мѣста наблюденія на другой день. Мы увидимъ, что наши часы показываютъ на 4 минуты меньше, чѣмъ наканунѣ. На слѣдующій день звѣзда спрячется еще на 4 минуты раньше и т. д

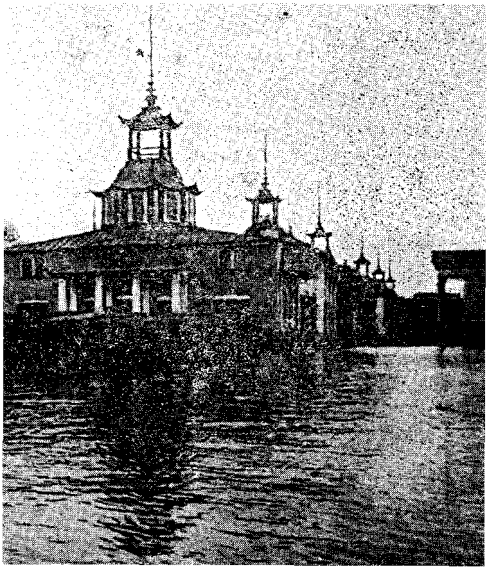


Рис. 34.

Отчего это можетъ быть?

Время оборота въ движеніи небеснаго свода для всѣхъ звѣздъ одинаково. Сводъ небесный вращается, какъ одно цѣлое, и притомъ

*) Рефракторъ труба, объективомъ которой служитъ линза, преломляющая лучи; въ рефлекторѣ объективъ представляетъ вогнутое зеркало, которое отражаетъ лучи, падающіе на него.

равномѣрно. Полный оборотъ его представляетъ вполнѣ опредѣленную единицу для измѣренія времени и называется **звѣздными** сутками. Но солнце не сохраняетъ своего положенія на небѣ относительно звѣздъ, вслѣдствіе этого и промежутокъ времени между двумя прохожденіями солнца черезъ меридіанъ не будетъ равняться интервалу между двумя одноименными кульминаціями звѣзды Промежутки между полднями, такъ называемыя **солнечныя** сутки нѣсколько отличаются отъ звѣздныхъ сутокъ. Приближенно мы можемъ считать разность равной 4-мъ минутамъ, при чемъ звѣздныя сутки оказываются короче солнечныхъ, къ которымъ приноравливается наша жизнь. Это непосредственно и показываетъ наше наблюденіе.

Такимъ образомъ, различается солнечное время и звѣздное.

Звѣздныя сутки такъ же, какъ и солнечныя, дѣлятся на 24 часа, часъ дѣлится на 60 минутъ, минута—на 60 секундъ.

Условились за **начало** звѣздныхъ сутокъ считать моментъ верхней кульминаціи точки весенняго равноденствія ♈

8-го марта ст. ст. солнце какъ разъ находится въ точкѣ весенняго равноденствія. Такимъ образомъ, ♈ въ этотъ день будетъ находиться въ верхней кульминаціи въ полдень.

Въ общежитіи началомъ сутокъ, такъ называемыхъ гражданскихъ сутокъ, считается полночь. Но астроному неудобно дѣлить ночь наблюденій на два числа. Въ астрономическомъ счетѣ принимаютъ за начало сутокъ полдень.

При такомъ счетѣ, слѣдовательно, въ полдень 8-го марта будетъ начало и солнечныхъ и звѣздныхъ сутокъ. Но на слѣдующій день солнце окажется уже нѣсколько лѣвѣе ♈, въ суточномъ движеніи небеснаго свода оно будетъ запаздывать сравнительно съ точкой весенняго равноденствія на 4 минуты. Когда солнце придетъ на меридіанъ, т. е. когда наступитъ для насъ полдень начало новаго дня, а звѣздныхъ часахъ будетъ стоять 4 минуты новыхъ звѣздныхъ сутокъ.

10-го марта въ полдень звѣздные часы будутъ показывать 8 минутъ, 11 марта—12 мин. и т. д. Звѣздные часы будутъ уходить каждый день 4 минуты впередъ сравнительно съ тѣми, по которымъ мы живемъ. Въ мѣсяцъ они уйдутъ приблизительно на 2 часа впередъ, въ два мѣсяца на 4 часа, въ 8 мѣсяцевъ на 16 часовъ и т. д.

За годъ звѣздные часы уйдутъ впередъ на 24 часа и 8-го марта въ полдень будутъ показывать опять столько же, сколько и наши обыкновенные часы.

Мы легко можемъ всегда разсчитать звѣздное время въ полдень для какого угодно дня въ году*).

*) О различіи истиннаго и средняго солнечнаго времени говорится въ главѣ VI-й. На первый разъ выгоднѣе сосредоточить вниманіе на отличіи звѣзднаго отъ солнечнаго вообще и ограничиться лишь приближенными расчетами.

Пусть, напримѣръ, намъ интересно знать звѣздное время въ полдень 23 мая ст. ст

Приближенно мы можемъ считать 8-го мая звѣздное время въ полдень равнымъ 4 часамъ. Съ 8 мая по 23 мая прошло 15 дней. За это время звѣздные часы еще уйдутъ впередъ на $4 \times 15 = 60$ м. $= 1$ час. Слѣдовательно, звѣздное время въ полдень 23-го мая можно считать приблизительно 5 час. (рис. 35)

Въ тотъ же день въ 9 час вечера звѣздное время будетъ 14 часовъ (рис. 36)*).

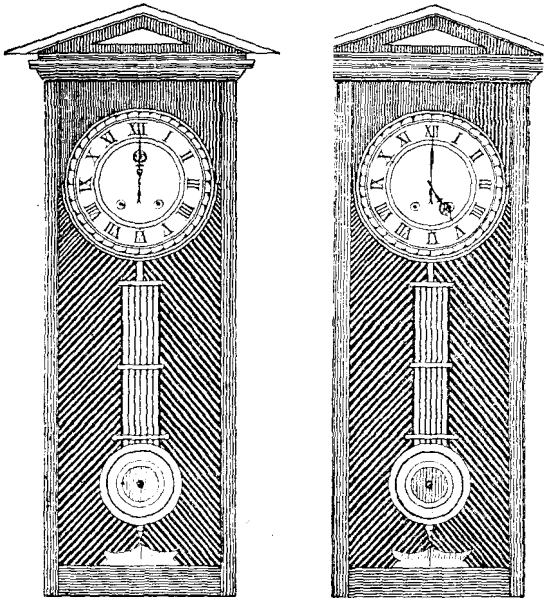


Рис. 36: Солнечное время въ полдень 23-го мая ст. ст. Звѣздное время

Задача 1 Какое звѣздное время въ полдень 2-го февраля стараго стиля и 20 декабря ст. ст.? **Отв** Приблизительно 21 час. 40 мин. и 18 час. 50 мин.

Задача 2. Во сколько часовъ по гражданскому времени будетъ начало звѣздныхъ сутокъ 1 іюля нов. ст.? **Отв** Въ 5 час 16 мин. утра.

Болѣе точныя значенія звѣзднаго времени въ полдень даются на каждый годъ въ соотвѣтствующихъ астрономическихъ календаряхъ.

Моментъ кульминаціи свѣтила Разберемъ теперь, въ какой зависимости находится время кульминаціи звѣзды отъ ея прямого восхожденія.

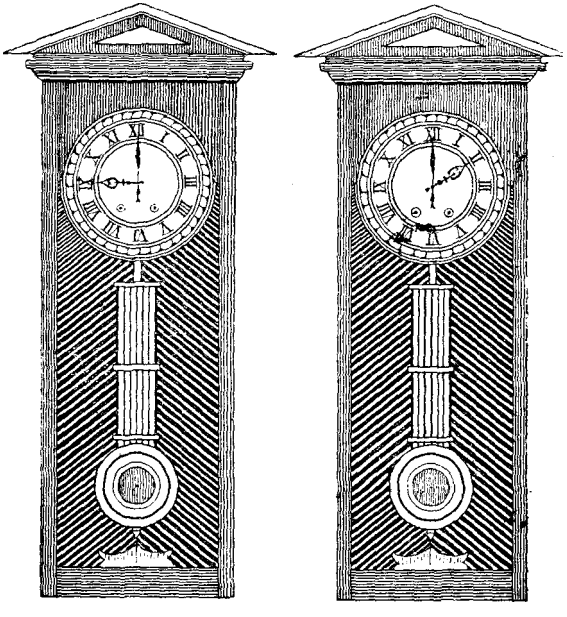


Рис. 36: Солнечное время въ 9 час. вечера 23-го мая ст. ст. Звѣздное время

*) Если циферблатъ часовъ раздѣленъ на 12 частей, то въ данномъ случаѣ къ показанію стрѣлокъ надо прибавить 12

$(2 + 12 = 14)$

Въ теченіе звѣздныхъ сутокъ, т. е. за 24 зв. часа, сводъ небесный дѣлаетъ полный оборотъ, въ 1 часъ онъ поворачивается на 15°

Слѣдовательно, звѣзда, прямое восхожденіе которой равно 15°, пройдетъ черезъ меридіанъ позднѣе, чѣмъ точка весенняго равноденствія, на 1 часъ. Та звѣзда, прямое восхожденіе которой 30°, запоздаетъ на 2 часа; для которой прямое восхожденіе 45°—на 3 часа и т. д.

Вмѣсто угла можно поэтому для измѣренія прямого восхожденія ввести время, считая каждые 15° за 1 часъ, каждыя 15 минутъ дуги за 1 минуту времени (15′ соотвѣтств. 1 мин.), 15 секундъ дуги за 1 секунду времени (15″—1 сек.).

Такимъ образомъ, можно сказать, что прямое восхожденіе звѣзды

2 часа, если оно равняется 30°
3 часа . . . . . 45°
4 часа 2 мин. . . . . 60°30′
7 час. 12 мин. . . . . 108° 0′ и т. д.

Такъ какъ за начало звѣздныхъ сутокъ, какъ упомянуто, принимается моментъ верхней кульминаціи точки весенняго равноденствія, то звѣздное время въ каждый данный моментъ оказывается равнымъ прямому восхожденію всѣхъ тѣхъ звѣздъ, которыя находятся тогда въ верхней кульминаціи.

Обратно: звѣзда будетъ въ верхней кульминаціи въ тотъ моментъ, когда звѣздное время сдѣлается равнымъ ея прямому восхожденію.

Рѣшимъ задачу: Какія звѣзды будутъ въ верхней кульминаціи въ 10 часовъ вечера 15 іюля ст. ст.?

Намъ нужно разсчитать, какое звѣздное время будетъ въ 10 ч. вечера 15-го іюля.

8-го іюля въ полдень звѣздное время приблизительно 8 час.,
15-го іюля . . . . . 8 ч. 28 м.,
въ 10 час. вечера 15 іюля . . . . . 18 ч. 28 м.*).

Слѣдовательно, въ 10 час. вечера 15-го іюля вблизи меридіана въ верхней кульминаціи будутъ всѣ звѣзды, прямое восхожденіе которыхъ приблизительно $18^1/_2$ часовъ.

Въ спискѣ звѣздъ, приложенномъ въ концѣ книги, найдемъ:

γ Дракона съ прям. восхожд. 17 час. 55 м.
α Лиры . . . . . 18 „ 34 „
ε Лиры . . . . . 18 „ 41 „

*) 10 часовъ средняго времени равны собственно 10 час. 1 мин. 40 сек. звѣзднаго, но поправкой въ 1 мин. 40 сек. при нашихъ приближенныхъ расчетахъ, когда даже звѣздное время въ полдень берется неточно, можно пренебречь.

Первая изъ этихъ трехъ звѣздъ уже прошла черезъ меридіанъ, вторая и третья еще къ востоку отъ него.

Задача обратная: Опредѣлить, въ какое время по нашимъ обыкновеннымъ часамъ проходитъ черезъ меридіанъ въ верхней кульминаціи звѣзда альфа Лебедя 18 сент. ст. ст.

Рѣшеніе: Въ моментъ верхней кульминаціи звѣзды звѣздное время равняется ея прямому восхожденію. Въ спискѣ звѣздъ, имѣющемся въ концѣ книги, мы находимъ, что прямое восхожденіе альфы Лебедя равно 20 час. 38 мин. Слѣдовательно, альфа Лебедя будетъ въ верхней кульминаціи въ тотъ моментъ, когда звѣздные часы будутъ показывать 20 часовъ 38 минутъ.

Въ полдень 18 сент. ст. ст. звѣздное время равно 12 ч. 40 мин.

Слѣдовательно, верхняя кульминація альфы Лебедя наступитъ черезъ 7 час. 58 мин. (=20 час. 38 мин.—12 час. 40 мин.) послѣ полудня, т. е. альфа Лебедя 18 сент. будетъ находиться въ верхней кульминаціи около 8 часовъ вечера.

Возьмемъ еще задачу: Опредѣлить моментъ верхней кульминаціи звѣзды Арктура (альфа Волопаса) для 28-го янв. ст. ст.

Рѣшеніе:

Звѣздное время въ полдень 28-го янв. приблизительно 21 час. 20 мин.
Прямое восхожденіе Арктура 14 „ 12 „

Слѣдовательно, Арктуръ кульминируетъ за 7 час. 8 мин. до полудня, т. е. въ 4 часа 52 мин. утра.

Иначе: будемъ считать, сколько времени пройдетъ отъ полудня до кульминаціи Арктура. Въ полдень звѣздное время 21 час. 20 мин., до конца звѣздныхъ сутокъ осталось еще 2 часа 40 мин.; Арктуръ же проходитъ черезъ меридіанъ послѣ начала звѣздныхъ сутокъ черезъ 14 ч. 12 м. Слѣдовательно, эта звѣзда кульминируетъ послѣ полудня черезъ 2 ч. 40 м.+14 ч. 12 м.=16 ч. 52 м., а это и есть 4 ч. 52 м. утра.

Расчетъ можно произвести такъ:

14 час. 12 мин.+24 час.=38 час. 12 мин.
—21 » 20 » =—21 » 20
черезъ 16 » 52 » послѣ полудня.

Такимъ образомъ, мы можемъ всегда легко разсчитать, когда надо ждать въ верхней кульминаціи опредѣленное свѣтило, координаты котораго извѣстны. Можемъ узнать и обратно, какія звѣзды кульминируютъ въ каждый напередъ заданный моментъ. Откроемъ карту, найдемъ созвѣздія, которыя должны, по нашимъ расчетамъ, находиться въ моментъ наблюденія близъ меридіана, посмотримъ на небо, и мы безъ особеннаго труда признаемъ эти созвѣздія.

Отъ этихъ созвѣздій перейдемъ къ сосѣднимъ: къ западу будутъ находиться тѣ, для которыхъ прямое восхожденіе меньше—они кульминировали раньше, къ востоку тѣ, прямое восхожденіе которыхъ больше, они еще не дошли до меридіана.

Поправка часовъ —Ни одинъ часовой механизмъ, сдѣланный рукой человѣка, не можетъ итти совершенно точно. Но, наблюдая движеніе небесныхъ свѣтилъ, мы можемъ повѣрять наши часы. Положимъ, прохожденіе черезъ меридіанъ звѣзды Веги (α Лиры) наблюдалось въ 18 час. 20 мин. Такъ какъ прямое восхожденіе Веги= 18 час. 34 мин (см. списокъ звѣздъ въ концѣ книги), то наши часы слѣдовательно, на 14 мин. назади.

Отъ звѣзднаго времени можно перейти къ солнечному и такимъ образомъ получить поправку тѣхъ часовъ, по которымъ мы живемъ

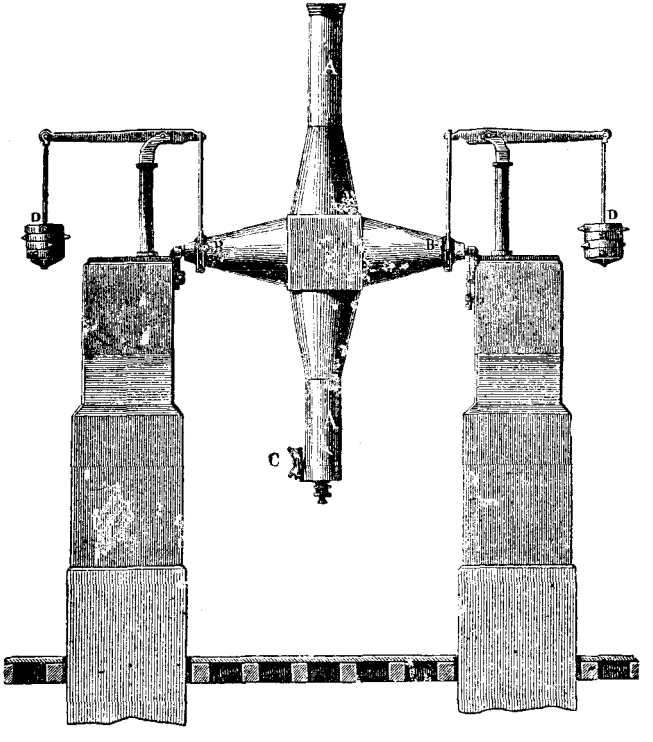


Рис. 37

Пассажный инструментъ Инструментъ, съ помощью котораго наблюдается прохожденіе свѣтила черезъ меридіанъ, называется пассажнымъ, т. е. инструментомъ прохожденій. Это—труба вращающаяся около горизонтальной оси, перпендикулярной въ данномъ случаѣ плоскости меридіана (рис. 37) Рядомъ съ этимъ инструментомъ непремѣнно должны быть часы. По звѣздамъ, прямое восхожденіе которыхъ извѣстно, повѣряютъ часы.

А наблюдая съ вѣрными часами прохожденіе неизвѣстнаго свѣтила, опредѣляютъ его прямое восхожденіе.

Меридіанный кругъ. Если къ трубѣ присоединить еще кругъ съ дѣленіями, то инструментъ называется меридіаннымъ кругомъ Съ помощью меридіаннаго круга опредѣляютъ обѣ экваторіальныя координаты. Поставимъ трубу параллельно экватору и запишемъ отсчетъ круга. Потомъ наставимъ трубу на интересующее насъ свѣтило, замѣтимъ по часамъ его прохожденіе черезъ середину поля трубы и отсчитаемъ на кругѣ положеніе трубы.

Разность отсчетовъ круга даетъ склоненіе свѣтила. Моментъ прохожденія черезъ меридіанъ опредѣляетъ его прямое восхожденіе

Такимъ образомъ составляются большіе каталоги, въ которыхъ даются координаты α и δ, опредѣляющія постоянное положеніе звѣздъ на небѣ

Рис 38 представляетъ астронома во время наблюденія на меридіан кругѣ

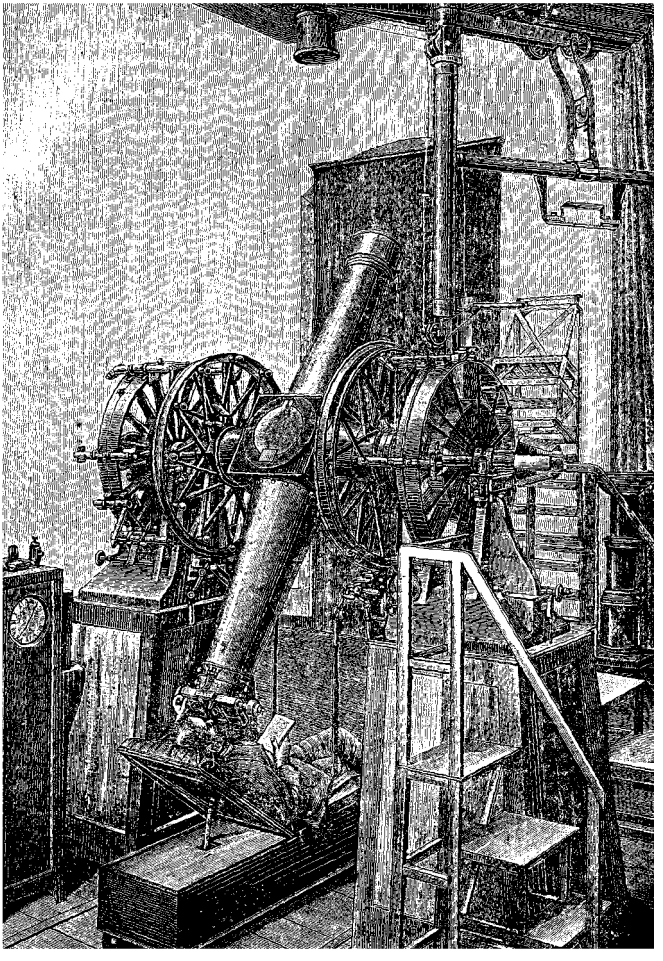


Рис. 38

Глава V. Видимое движеніе солнца

Перемѣщенія солнца между звѣздами непосредственно замѣтить нельзя потому, что вслѣдствіе освѣщенія атмосферы около солнца не видно звѣздъ. Но тѣмъ не менѣе нетрудно убѣдиться, что солнце не сохраняетъ своего положенія, а постепенно перемѣщаясь справа налѣво, за годъ дѣлаетъ полный оборотъ по небу. Для этого стоитъ только

отмѣчать, какія звѣзды проходятъ въ верхней кульминаціи въ полночь каждаго дня. Понятно, что эти звѣзды будутъ противоположны солнцу

Пусть сегодня въ полночь проходитъ въ верхней кульминаціи звѣзда α (рис. 39). Черезъ мѣсяцъ въ полночь будетъ кульминировать уже не α, а звѣзда β, прямое восхожденіе которой на 30^0 больше, чѣмъ у звѣзды α. Слѣдовательно, солнце за мѣсяцъ перемѣстится изъ положенія 1-го въ положеніе 2-е За годъ оно обойдетъ все небо кругомъ.

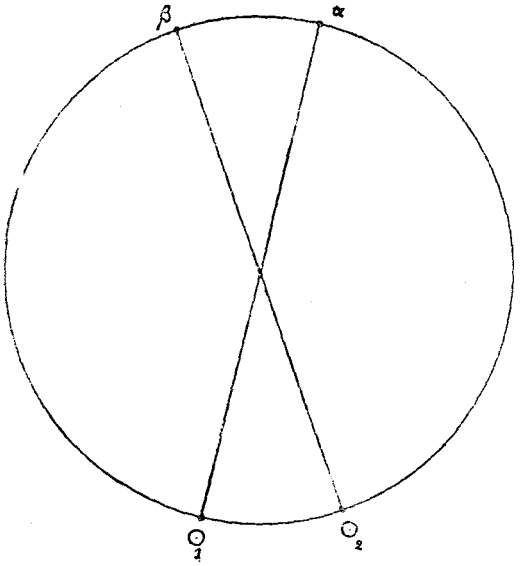


Рис. 39.

Наблюдая высоту солнца надъ горизонтомъ въ полдень, мы можемъ выяснить и измѣненіе его склоненія всѣ знаютъ, что солнце лѣтомъ стоитъ гораздо выше, чѣмъ зимой.

Эклиптика. Оказывается, что солнце перемѣщается между звѣздами такъ, что за годъ проходитъ на небѣ большой кругъ, который называется эклиптикой. Этотъ кругъ пересѣкаетъ экваторъ въ двухъ точкахъ ♈ и ♎, такъ называемыхъ равноденственныхъ точкахъ (рис. 40). Названія эти произошли оттого, что въ тѣ дни, когда солнце на экваторѣ, оно въ суточномъ движеніи небеснаго свода остается надъ горизонтомъ столько же времени, сколько и подъ горизонтомъ, т. е. 12 час. День равенъ ночи. Что касается обозначеній, то они напоминаютъ намъ названія созвѣздій, въ которыхъ находились раньше эти точки: созвѣздіе Овна (♈—какъ бы рога барана) и созвѣздіе Вѣсовъ

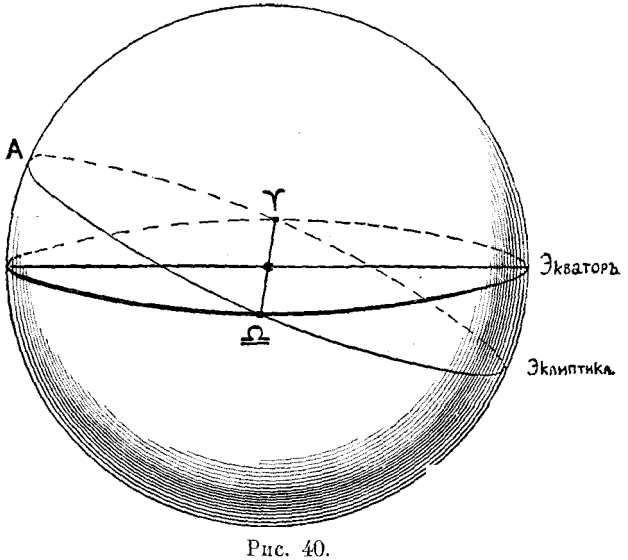


Рис. 40.

Въ точкѣ ♈ солнце бываетъ 8 марта ст. ст. Это точка весенняго равноденствія. Въ точкѣ ♎ солнце переходитъ изъ сѣвернаго полушарія въ южное 11 сентября ст. ст. Это точка осенняго равноденствія

9-го іюня солнце бываетъ въ наиболѣе удаленной отъ экватора точкѣ эклиптики A и проходитъ надъ горизонтомъ наблюдателя, находящагося въ сѣверномъ полушаріи, всего выше (рис. 41)

Оно описываетъ за день параллель AB, восходитъ на сѣверо-востокѣ, заходитъ на сѣверо-западѣ: наиболѣе длинный день, наиболѣе короткая ночь.

Наоборотъ, 10-го декабря солнце въ наиболѣе удаленной отъ экватора точкѣ южной части эклиптики a. За день оно описываетъ параллель ab, поднимается надъ нашимъ горизонтомъ не надолго большую часть своего суточнаго пути совершаетъ подъ горизонтомъ: наиболѣе длинная ночь, наиболѣе короткій день.

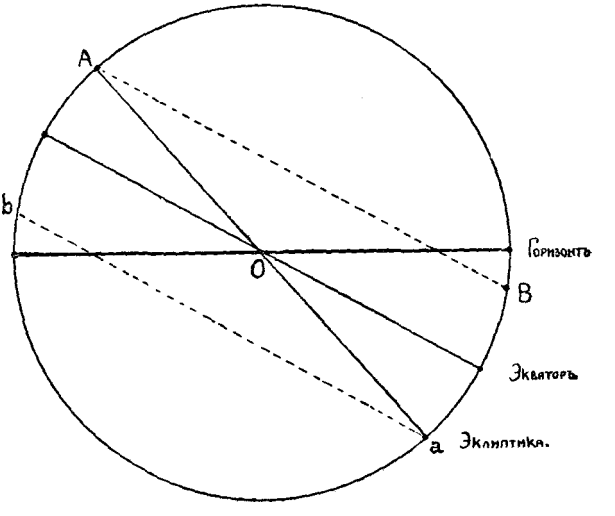


Рис. 41

Въ дни, близкіе къ 9-му іюня и 10-му декабря, когда солнце проходитъ наиболѣе удаленныя отъ экватора части эклиптики, высота его измѣняется мало. Поэтому точки A и a получили названія точекъ лѣтняго и зимняго солнцестояній

Попробуемъ измѣрить высоту солнца надъ горизонтомъ въ полдень 9-го іюня и 10-го декабря. Разность, равная дугѣ bA, очевидно, представитъ двойной уголъ наклоненія эклиптики къ экватору

Китайцы еще 3000 лѣтъ тому назадъ производили такія опредѣленія съ помощью гномона.

Солнце стоитъ въ полдень на высотѣ:

	въ Петроградѣ	въ Москвѣ
9 іюня ст. ст.	53°41′	57°42′
10 декабря	6°47′	10°48′
разность	46°54′	46°54′

Наклоненіе эклиптики къ экватору 23°27′

Измѣненіе склоненія солнца.—Склоненіе солнца:

8-го марта ст. ст	0° (солнце на экваторѣ)
9-го іюня	$23^1/_2{}^0$
11-го сентября	0°
10-го декабря	$23^1/_2{}^0$

Измѣненіе прямого восхожденія Прямое восхожденіе считается отъ точки весенняго равноденствія. Слѣдовательно, прямое восхожденіе солнца:

8 марта ст. ст.	0 час	(приблизительно)	
9 іюня	6	,,	
11 сентября	12	,,	
10 декабря	18	,,	
8 марта	24	,,	или опять 0

Зодіакальныя созвѣздія —Интересно прослѣдить расположеніе эклиптики на небѣ. Созвѣздій, по которымъ она пролегаетъ, всего 12. Солнце, обходя кругомъ по всей эклиптикѣ въ годъ, остается въ предѣлахъ каждаго изъ нихъ приблизительно по мѣсяцу. Всѣ вмѣстѣ эклиптическія созвѣздія составляютъ такъ называемый поясъ зодіака, раздѣляемый на 12 равныхъ знаковъ, названія которыхъ тѣ же, какъ и названія созвѣздій, хотя по предѣламъ своимъ эти знаки не совпадаютъ съ одноименными созвѣздіями.

Поэтъ Авзоній, измѣнивши нѣкоторыя латинскія названія созвѣздій на болѣе подходящія къ стиху, сложилъ двустишіе, которое легко держится въ памяти:

Sunt: Aries, Taurus, Gemini, Cancer, Leo, Virgo
Libraque, Scorpius, Arcitenens, Caper, Amphora, Pisces

т. е. Овенъ, Телецъ, Близнецы, Ракъ, Левъ, Дѣва,
Вѣсы, Скорпіонъ, Стрѣлецъ, Козерогъ, Водолей, Рыбы. (См. карту)

Весной солнце проходитъ по созвѣздіямъ Рыбъ, Овна и Тельца, въ полночь на югѣ мы видимъ противоположныя созвѣздія: Дѣву, Вѣсы, Скорпіона

Лѣтомъ солнце въ созвѣздіяхъ Близнецовъ, Рака, Льва, –въ полночь на югѣ видны послѣдовательно созвѣздія: Стрѣльца, Козерога и Водолея. Это нижняя часть эклиптики. Она едва поднимается надъ горизонтомъ въ нашихъ сѣверныхъ широтахъ.

Осенью и зимой солнце, наоборотъ, въ нижней части эклиптики проходитъ по созвѣздіямъ: Дѣвы, Вѣсовъ, Скорпіона, Стрѣльца, Козерога, Водолея, а въ полночь на югѣ мы послѣдовательно видимъ въ сентябрѣ созв. Рыбъ, въ октябрѣ—часть созв. Рыбъ и потомъ созв. Овна, въ ноябрѣ—созв. Тельца, въ декабрѣ —созв. Близнецовъ, въ январѣ созв. Рака и Льва, въ февралѣ—созв. Льва

Такимъ образомъ, зимой вообще нашимъ наблюденіямъ доступна та часть эклиптики, которая высоко поднимается надъ горизонтомъ.

Эклиптическія координаты.—Выше мы познакомились съ двумя системами координатъ, опредѣляющими положеніе свѣтила на небѣ

I система координаты: азимутъ и высота, основная плоскость плоскость горизонта (стр. 16)

II система координаты: прямое восхожденіе и склоненіе, основная плоскость- плоскость экватора (стр. 17)

Есть еще III-ья система –координаты: астрономическая долгота и астрономическая широта, основная плоскость—плоскость эклиптики

Діаметръ, перпендикулярный къ плоскости эклиптики, пересѣкаетъ небесную сферу въ двухъ точкахъ, которыя называются полюсами эклиптики. Большіе круги, проходящіе черезъ эти полюсы, называются кругами широты. Возьмемъ кругъ широты, проходящій черезъ данное свѣтило. Разстояніе по этому кругу свѣтила отъ эклиптики, т е

дуга $MS = \beta$ (рис. 42), называется астрономической широтой Къ сѣверу отъ эклиптики широта считается условно положительной, къ югу —отрицательной.

Разстояніе по эклиптикѣ отъ точки весенняго равноденствія до подошвы круга широты, т. е. дуга $M\Upsilon = \lambda$, называется долготой.

Подобно прямому восхожденію, долгота считается отъ точки весенняго равноденствія противъ часовой стрѣлки въ предѣлахъ отъ 0^0 до 360^0

Астрономическую долготу и широту свѣтила не надо смѣшивать съ географическими долготой и широтой мѣста на земной поверхности.

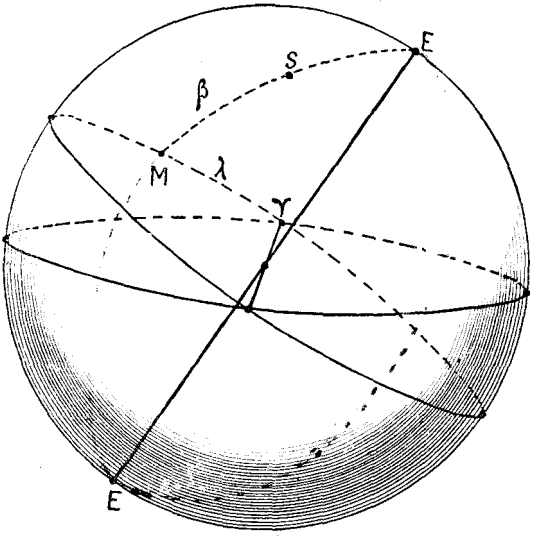


Рис. 42.

Поворотные круги.—Въ дни солнцестояній солнце въ суточномъ движеніи описываетъ круги, параллельные экватору, которые называются поворотными кругами или тропиками: 9 іюня ст. ст.—тропикъ Рака (потому что раньше точка лѣтняго солнцестоянія находилась въ созвѣздіи Рака) и 10 декабря ст. ст.—тропикъ Козерога (потому что раньше точка зимняго солнцестоянія находилась въ созвѣздіи Козерога).

Задача. Какую дугу проходитъ солнце по эклиптикѣ въ сутки?

Глава VI.—**Истинное и среднее солнечное время Солнечные часы.**

Промежутокъ между послѣдовательными верхними кульминаціями солнца называется истинными солнечными сутками. Если бы солнце оставалось среди звѣздъ неподвижно, то истинныя солнечныя сутки равнялись бы обороту небеснаго свода, т. е. звѣзднымъ суткамъ. Но такъ какъ солнце перемѣщается съ запада на востокъ, то въ суточномъ движеніи небеснаго свода оно отстаетъ отъ звѣздъ, и солнечныя сутки поэтому длиннѣе звѣздныхъ.

Перемѣщеніе солнца за сутки составляетъ приблизительно $1^0 \left(= \frac{360^0}{365}\right)$ На такой уголъ сводъ небесный повернется въ теченіе $\frac{1}{15}$ часа, т. е. 4 минутъ. Т. обр. разность между звѣздными и

солнечными сутками равна приблизительно 4 минутамъ, но она непостоянна: солнце запаздываетъ то нѣсколько больше, то меньше Истинныя солнечныя сутки неодинаковы и потому не могутъ служить единицей для измѣренія времени. Между тѣмъ наша жизнь, конечно, приноравливается къ солнцу, а не къ звѣздамъ. Поэтому ввели такъ называемое среднее солнечное время.

Вообразимъ солнце, которое равномѣрно движется по экватору. Моментъ верхней кульминаціи такого воображаемаго солнца будемъ называть среднимъ полднемъ. Такъ какъ настоящее солнце движется не по экватору, а по эклиптикѣ и движется притомъ неравномѣрно, то прямое восхожденіе его будетъ вообще отличаться отъ прямого восхожденія средняго воображаемаго солнца. Истинное солнце поэтому будетъ проходить черезъ меридіанъ или раньше средняго или позднѣе. Такимъ образомъ, истинное солнечное время отличается отъ удобнаго для насъ средняго времени, по которому мы живемъ. Разность называется уравненіемъ времени. Эта разность 4 раза въ году бываетъ равна нулю: около 1 апрѣля, 1 іюня, 18 августа и 10 декабря ст. ст.

Между 1-мъ дек. и 1-мъ апр. истинное солнце отстаетъ отъ средняго, такъ что, когда мы считаемъ полдень (12 час.), на самомъ дѣлѣ солнце еще не дошло до меридіана; наибольшая разность 14½ минутъ бываетъ 1-го февр.

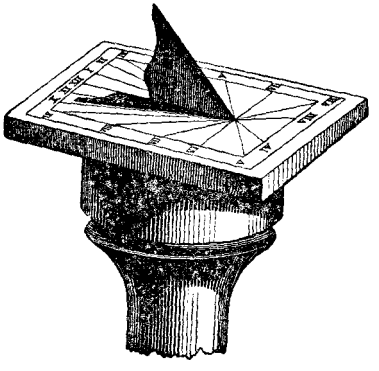


Рис. 43.

Между 1-мъ апр. и 1-мъ іюня, наоборотъ, среднее солнце назади истиннаго, такъ что, когда солнце на самомъ дѣлѣ уже въ меридіанѣ, мы на нашихъ часахъ еще не имѣемъ 12 час.

Между 1-мъ іюня и 18-мъ авг. вновь отстаетъ среднее солнце

Между 18-мъ авг. и 10-мъ дек. отстаетъ среднее солнце. Всего больше оно назади отъ истиннаго около 20-го октября (на 16⅓ мин.)

Въ календаряхъ даются таблицы, содержащія уравненіе времени для каждаго дня даннаго года съ соотвѣтствующимъ знакомъ. Этими таблицами приходится пользоваться, если опредѣляется поправка часовъ по солнцу

На рис. 43 мы имѣемъ такъ называемые солнечные часы. На горизонтальной доскѣ вертикально поставлена дощечка въ видѣ прямоугольнаго треугольника такъ, чтобы гипотенуза была направлена по оси міра, и проведены прямыя линіи соотвѣтственно тому, какъ ложится край тѣни, отбрасываемой дощечкой, когда она освѣщается солнцемъ въ различные часы дня, начиная отъ четырехъ утра и кончая восемью вечера

Дождемся момента, когда край тѣни дойдетъ до какой-либо линіи, посмотримъ, сколько показываютъ наши часы. Если часы вѣрны, то ихъ показаніе должно равняться числу часовъ, соотвѣтствующему линіи, по которой ложится край тѣни, плюсъ уравненіе времени.

Пусть, напримѣръ, 1-го октября мы наблюдали послѣ полудня прикосновеніе края тѣни къ линіи III по нашимъ часамъ въ 2 часа 49 мин.

Такъ какъ 1-го окт. среднее солнце назади истиннаго на 14 мин., какъ даютъ таблицы уравненія времени, то наши часы должны показывать 3 часа—14 мин. =2 час. 46 мин.

Но они показываютъ 2 часа 49 мин. Слѣдовательно, наши часы впереди на 3 минуты.

Задача. 6-го іюля утромъ наблюдалось прикосновеніе края тѣни къ линіи X. когда часы показывали 10 час. 2 мин. Опредѣлить поправку, если извѣстно, что въ этотъ день среднее солнце впереди истиннаго на 6 мин

Рѣшеніе:

Истинное время	=10 час.
Уравн. времени	+6 мин.
Среднее время	= 10 час. 6 мин.
Показаніе часовъ	= 10 час. 2 мин.
Слѣдов. часы назади на	4 минуты.

Если наблюденія дѣлать по гномону, то лучше отмѣтить моментъ, когда тѣнь станетъ наиболѣе короткой. Это будетъ при прохожденіи солнца черезъ меридіанъ, т. е. въ истинный полдень.

Глава VII. Лѣтосчисленіе. Календари: юліанскій и григоріанскій.

Тропическій годъ Среднія солнечныя сутки составляютъ одну основную единицу для измѣренія времени въ нашей жизни.

Другая единица—такъ называемый тропическій годъ, т. е. промежутокъ между двумя послѣдовательными прохожденіями солнца черезъ точку весенняго равноденствія.

Къ сожалѣнію, годъ не можетъ быть выраженъ цѣлымъ числомъ сутокъ. Онъ равняется 365 сут. 5 час. 48 мин. 46 сек. Вслѣдствіе этого является большое неудобство въ счисленіи времени. Странно было бы начинать новый годъ въ различное время дня: одинъ годъ, положимъ, въ 12 часовъ ночи, слѣдующій въ 5 час. 48 мин. 46 сек. утра, третій въ 11 час. 37 мин. 32 сек. утра, четвертый въ 5 час. 2 мин. 18 сек. пополудни и т. д. Поэтому всѣ календари составлялись условно. Въ древнее время стремленіе сочетать при счисленіи времени движеніе луны съ движеніемъ солнца вносило большую путаницу. Въ Римѣ одно время, повидимому, существовалъ годъ изъ 304 и 354 дней.

Юліанскій календарь Большой заслугой Юлія Цезаря является реформа календаря, которую онъ произвелъ съ помощью александрійскаго астронома Созигена. Чтобы исправить погрѣшности календаря, которыя накопились къ этому времени, Созиг-

гену пришлось для 46-го года (до Р. Хр.) ввести три лишнихъ мѣсяца, такъ что годъ оказался изъ 445 дней. На будущее Созигенъ устанавливаетъ лѣтосчисленіе только по солнцу, независимо отъ движенія луны, и принимаетъ годъ въ 365¼ дней, т. е. болѣе дѣйствительнаго года на 11 мин. 14 сек., при чемъ онъ предложилъ три года подъ рядъ считать по 365 дней, а каждый 4-ый годъ въ 366 дней.

Юліанскій календарь былъ принятъ на Никейскомъ Соборѣ (325 г.) при установленіи правилъ празднованія Пасхи. Онъ до сихъ поръ употребляется въ Россіи, Греціи и другихъ государствахъ, принадлежащихъ къ восточной церкви.

Годы, кратные 4, называются у насъ високосными. Это названіе представляетъ испорченное латинское слово bissextilis, т. е. годъ, въ которомъ было два шестыхъ дня передъ календами мартовскими *).

Юліанскій календарь очень простъ и изященъ, но онъ неточенъ. Какъ, повидимому, ни мала разница принятой продолжительности года отъ дѣйствительной (11 мин. 14 сек.), все-таки она, постепенно накопляясь, стала ощутительна.

При юліанскомъ лѣтосчисленіи ошибка въ однѣ сутки накопляется въ 128 лѣтъ. Въ 1280 л. она достигаетъ 10 сутокъ.

Положимъ, мы изъ полной бочки беремъ воду ведрами—всего будетъ 30 ведеръ. Но если мы станемъ черпать воду сосудомъ большимъ, чѣмъ ведро, то придется зачерпнуть меньшее число разъ. Такъ и при измѣреніи времени. Принимая за годъ промежутокъ времени большій дѣйствительнаго года, мы получимъ меньшее число. Такимъ образомъ, живя по юліанскому календарю, мы о т с т а е м ъ отъ солнца.

Григоріанскій календарь.—Въ годъ Никейскаго Собора (325 г.) начало весны было 21-го марта, а въ XVI столѣтіи солнце проходило черезъ точку весенняго равноденствія по календарю 11 марта. Папа Григорій XIII рѣшилъ привести календарь въ большее согласіе съ природой.

Въ 1582 г. онъ издалъ буллу, въ которой приказано было передвинуться въ календарномъ счетѣ сразу на 10 дней, считая въ этомъ году вмѣсто 5-го октября 15-е октября, и прибавлять въ будущемъ въ каждыя 400 лѣтъ по 3 дня противъ юліанскаго счета.

Въ юліанскомъ календарѣ ошибка въ одинъ день накопляется, какъ упомянуто, въ 128 лѣтъ. Ошибка въ 3 дня накопится въ 384 года, что и составляетъ почти 400 лѣтъ.

*) Первый день мѣсяца назывался календами, 24 февраля считалось шестымъ днемъ предъ календами мартовскими. Въ годы, кратные 4, шестыхъ дней предъ календами мартовскими было два: 24 и 25 февраля.

Прибавка трехъ дней въ 400 лѣтъ въ григоріанскомъ календарѣ производится весьма остроумно. Очевидно, что если считать простымъ тотъ годъ, который по юліанскому календарю долженъ быть високоснымъ, то мы этимъ самымъ уйдемъ въ нашемъ счетѣ на одинъ день впередъ противъ юліанскаго лѣтосчисленія. Въ григоріанскомъ календарѣ и установлено за 400 лѣтъ три високосныхъ (по юліанскому календарю) года считать простыми, это именно тѣ сотые годы, число сотенъ въ которыхъ не дѣлится на 4. Такимъ образомъ 1600 годъ какъ въ юліанскомъ, такъ и въ григоріанскомъ считался високоснымъ, но 1700 годъ въ юліанскомъ былъ високосный, а въ григоріанскомъ простой, точно такъ же 1800 и 1900 годы, но 2000 годъ въ обоихъ календаряхъ долженъ быть високоснымъ. Въ 1582 году разница новаго стиля (григоріанскій календарь) и стараго (юліанскаго) была въ 10 дней Она оставалась до 1700 г., но въ XVIII в. она сдѣлалась равной 11 днямъ, въ XIX в. 12 днямъ, теперь послѣ 1900 г. 13-ти днямъ. Новый стиль принятъ во всѣхъ государствахъ западной Европы и представляется весьма удовлетворительнымъ.

Ошибка въ одинъ день при григоріанскомъ лѣтосчисленіи накопляется только въ 3000 лѣтъ, и для нашей жизни существеннаго значенія имѣть не можетъ.

Глава VII. Суточное движеніе небеснаго свода явленіе кажущееся Вращеніе земли. Земные полюсы, экваторъ, меридіанъ Географическія координаты

Обманы чувства. Вращеніе земли.—Не все намъ кажется такъ, какъ на самомъ дѣлѣ происходитъ. Если мы ѣдемъ, напримѣръ, долго съ закрытыми глазами, то можетъ показаться, что мы перемѣщаемся въ направленіи обратномъ тому, въ какомъ ѣдемъ на самомъ дѣлѣ.

Весьма многимъ, конечно, знакомъ такой обманъ чувства. Вы уѣзжаете на пароходѣ. Вотъ поданъ знакъ къ отвалу, и вдругъ вы видите, что пристань и берегъ уходятъ отъ васъ. Конечно, это тронулся пароходъ, на которомъ вы стоите, но онъ великъ, вы не чувствуете никакихъ сотрясеній при его еще медленномъ движеніи, всѣ окружающіе васъ предметы перемѣщаются вмѣстѣ съ вами, вы видите себя въ прежней обстановкѣ и вамъ кажется, что внѣшніе предметы удаляются отъ васъ, а не вы отдаляетесь отъ нихъ съ пароходомъ.

Такой же обманъ чувства испытываемъ мы всѣ, наблюдая суточное движеніе небеснаго свода. Мы говорили, что солнце, луна и звѣзды восходятъ, поднимаются на извѣстную высоту, вновь склоняются къ горизонту и потомъ заходятъ, что весь сводъ небесный вра-

щается около нѣкоторой оси, но тѣ же явленія должны происходить и въ томъ случаѣ, если всѣ свѣтила небесныя останутся спокойно на опредѣленныхъ мѣстахъ въ пространствѣ, и только земля будетъ вращаться около оси міра въ сторону обратную той, въ которую намъ кажется вращается небесный сводъ.

Возьмемъ на землѣ сѣченіе, перпендикулярное этой оси. Пусть на рис. 44 мы будемъ имѣть три положенія наблюдателя *a* при вращеніи земли по стрѣлкѣ. Въ первомъ случаѣ свѣтило *S* будетъ лишь немного приподнято надъ горизонтомъ наблюдателя, во второмъ оно достигло наибольшей высоты, въ третьемъ оно вновь опустилось къ горизонту, заходитъ. Когда данное мѣсто на земной поверхности обращено къ солнцу, на него падаютъ его лучи, здѣсь день. Когда оно унесется вращеніемъ земли на противоположную отъ солнца сторону, для него будетъ ночь (рис. 45).

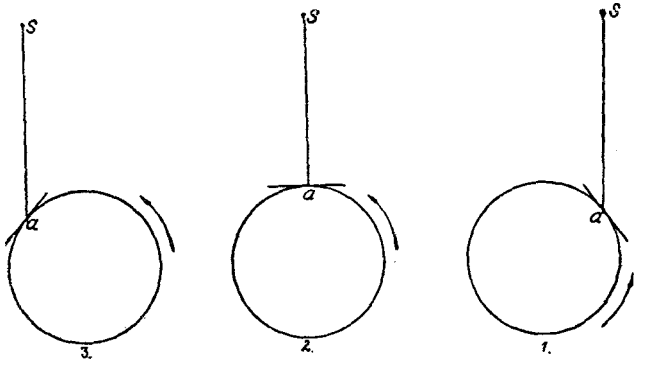


Рис. 44.

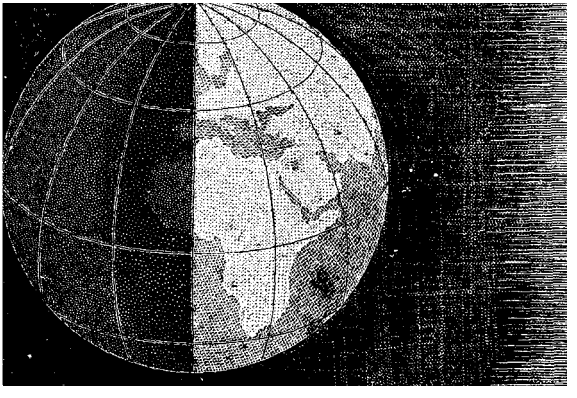


Рис. 45.

Второй взглядъ проще, естественнѣе, но онъ не согласуется съ нашимъ непосредственнымъ ощущеніемъ, и человѣчество прожило много тысячелѣтій прежде, чѣмъ былъ понятъ этотъ обманъ чувства. Теперь есть и реальныя доказательства того, что вращается сама земля, а не сводъ небесный со всѣми видимыми на небѣ свѣтилами. Нѣкоторыя изъ нихъ будутъ указаны въ главѣ XII.

Вѣрнымъ объясненіемъ явленія суточнаго вращенія небеснаго свода мы обязаны Копернику, который своимъ ученіемъ о вра-

щеніи земли и движеніи ея вмѣстѣ съ другими планетами около солнца произвелъ полный переворотъ въ астрономіи и во всемъ нашемъ міровоззрѣніи.

Николай Коперникъ родился въ 1473 г., умеръ въ 1543 г Его главное мѣстожительство Фрауенбургъ на берегу Балтійскаго моря, гдѣ онъ состоялъ каноникомъ при соборѣ, занимаясь въ то же время врачебнымъ искусствомъ (рис. 46). Здѣсь въ тиши лѣсовъ созрѣло его великое ученіе, которое шло въ разрѣзъ съ тѣмъ, что казалось естественнымъ, что въ теченіе вѣковъ считалось непреложной истиной. Коперникъ не торопился съ опубликованіемъ своихъ идей. Его книга, сдѣлавшаяся безсмертной, была напечатана передъ самой его смертью. Католическая церковь наложила на нее проклятіе. Представители реформаціи, Лютеръ и Меланхтонъ, осмѣяли новое ученіе, толпа съ глумленіемъ произносила имя великаго человѣка.

Рис. 46. Николай Коперникъ

Земные полюсы, экваторъ, меридіанъ Ось вращенія земли и есть та линія, вокругъ которой видимо вращается небесный сводъ для наблюдателя въ данномъ мѣстѣ земной поверхности Точнѣе, она параллельна той линіи, которую наблюдатель называетъ осью міра (на рис. 47 *aP*—ось міра для наблюдателя въ точкѣ *a*, *cP*—ось вращенія земли). Но размѣры земли, какъ оказывается, такъ малы сравнительно съ разстояніями небесныхъ тѣлъ, что мы можемъ при нашихъ построеніяхъ считать землю просто точкой.

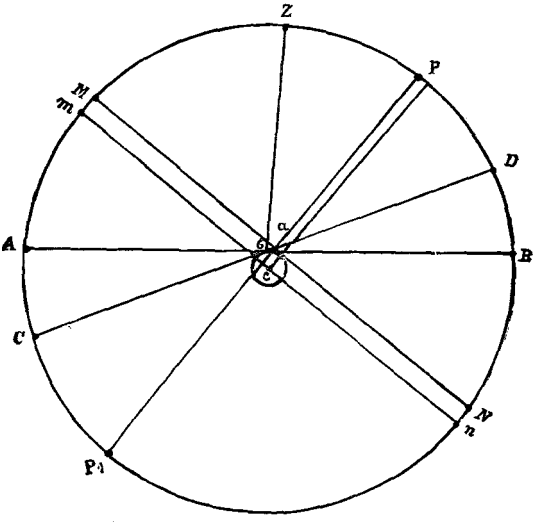


Рис. 47.

Ось земли проходитъ, конечно, черезъ центръ, она пересѣкаетъ

поверхность въ двухъ діаметрально противоположныхъ точкахъ, такъ называемыхъ земныхъ полюсахъ, остающихся при вращеніи земли неподвижными.

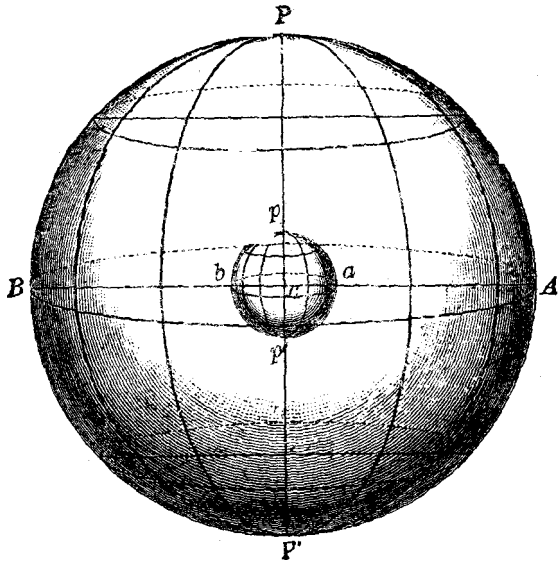


Рис. 48

Плоскость, перпендикулярная оси вращенія и проходящая черезъ центръ (плоскость *mn* на рис. 47), есть плоскость земного экватора, раздѣляющаго землю на два полушарія сѣверное и южное.

Небесный экваторъ *MN*, который мысленно проводитъ наблюдатель въ мѣстѣ своего наблюденія, всегда параллеленъ земному. Но горизонтъ плоскость касательная къ земной поверхности, измѣняетъ свое направленіе вмѣстѣ съ измѣненіемъ мѣста наблюденія. Измѣняется и уголъ его съ экваторомъ, а слѣдовательно, и съ осью вращенія земли, т е измѣняется высота полюса надъ горизонтомъ. Въ точкѣ *a* горизонтъ *AB* и высота полюса $\angle PaB$ Въ точкѣ *b* горизонтъ *CD*, высота полюса $\angle PbD$

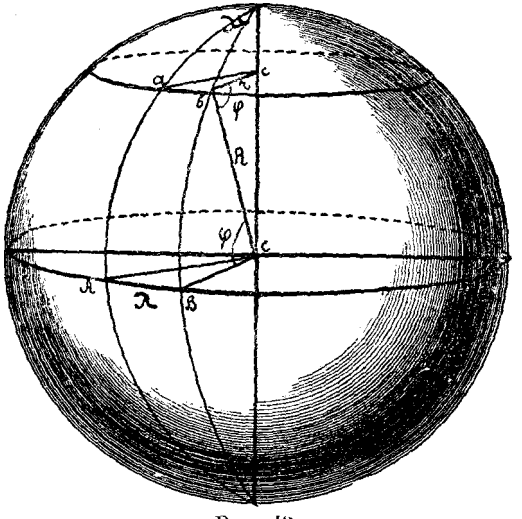


Рис. 49

Плоскость, проходящая черезъ ось земли и мѣсто наблюденія, называется географическимъ меридіаномъ Это, конечно, есть плоскость небеснаго меридіана въ данномъ мѣстѣ наблюденія, которая опредѣляется двумя прямыми линіями: осью міра и вертикальной линіей въ мѣстѣ наблюденія. На рис. 48-мъ точки *p* и *p'* полюсы земные, точки *P* и *P'* полюсы небесные, *ab* земной экваторъ, *AB* экваторъ небесный. Круги, перпендикулярные *ab*, проходящіе черезъ полюсы *p* и *p'* меридіаны географическіе, круги, перпендикулярные *AB*, проходящіе черезъ полюсы *PP'* меридіаны небесные

Географическія координаты Для опредѣленія положенія какого-либо мѣста *b* на земной поверхности служатъ двѣ величины рис. 49

1) Географическая широта—разстояніе отъ экватора, считаемое по меридіану мѣста, т. е. дуга Bb, или уголъ φ

2) Географическая долгота уголъ λ между меридіаномъ мѣста b и меридіаномъ другого, вполнѣ опредѣленнаго, извѣстнаго пункта a.

Широта считается къ югу и къ сѣверу отъ экватора.

Долгота -къ востоку и западу отъ меридіана пункта a; такъ Самара лежитъ къ востоку, а Варшава къ западу отъ Пулкова*). Само Пулково такъ же, какъ Варшава и Самара, находится къ востоку отъ Гринвича**) и т. д.

Глава IX. **Опредѣленіе широты и долготы мѣста. Высота свѣтила въ меридіанѣ. Значеніе астрономіи для мореплаванія Хронометръ. Секстантъ. Видъ неба подъ различными широтами Незаходящія и невосходящія звѣзды**

Опредѣленіе широты мѣста.—Взглянемъ на рис. 50. Пусть линія QP -ось вращенія земли, EE'—земной экваторъ, AH—горизонтъ въ мѣстѣ наблюденія A, AP'—направленіе оси міра, параллельное OP, уголъ EOA -широта мѣста φ.

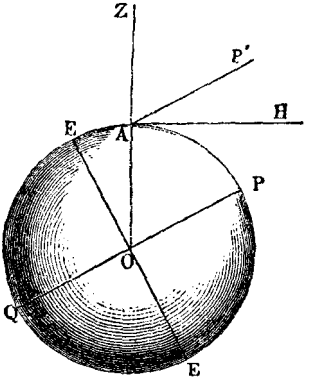


Рис. 50.

Ясно, что уголъ этотъ равняется углу $P'AH$, такъ какъ стороны этихъ угловъ взаимно перпендикулярны. Но $\angle P'AH$—высота *полюса*.

Такимъ образомъ, высота полюса надъ горизонтомъ даннаго мѣста наблюденія равняется географической широтѣ этого мѣста.

Нетрудно, слѣдовательно, опредѣлить широту мѣста. Надо только опредѣлить высоту Полярной. Это будетъ, конечно, грубое приближеніе, потому что Полярная звѣзда не въ полюсѣ; но во *многихъ* случаяхъ можно удовлетвориться и этимъ результатомъ.

Если же желательна большая точность, то можно дождаться верхней кульминаціи какой-либо извѣстной звѣзды и въ моментъ *прохожденія ея* черезъ меридіанъ опредѣлить ея зенитное разстояніе.

*) Въ Пулковѣ близъ Петрограда находится наша главная астрономическая обсерваторія.

**) Въ Гринвичѣ близъ Лондона—главная англійская астрономическая обсерваторія.

Рис. 51-й показываетъ наглядно, что если звѣзда S кульминируетъ къ югу отъ зенита Z, то ея зенитное разстояніе (z)+склоненіе (δ) равняется высотѣ полюса, такъ какъ по перпендикулярности сторонъ

$$\angle MaZ = \angle PaB$$

Такимъ образомъ, имѣемъ

$$\omega = z + \delta$$

Если звѣзда во время верхней кульминаціи находится къ сѣверу отъ зенита (S_1), тогда, очевидно, получается формула

$$\delta = \varphi + z,$$

откуда

$$\varphi = \delta - z$$

Пусть, напримѣръ, зенитное разстояніе Веги, для которой $\delta = +38^0 42'$, во время верхней кульминаціи въ городѣ Вѣрномъ было $z = 4^0 34'$ къ югу отъ зенита. Тогда мы прямо находимъ, что широта Вѣрнаго будетъ $\varphi = 38^0 42' + 4^0 34' = 43^0 16'$

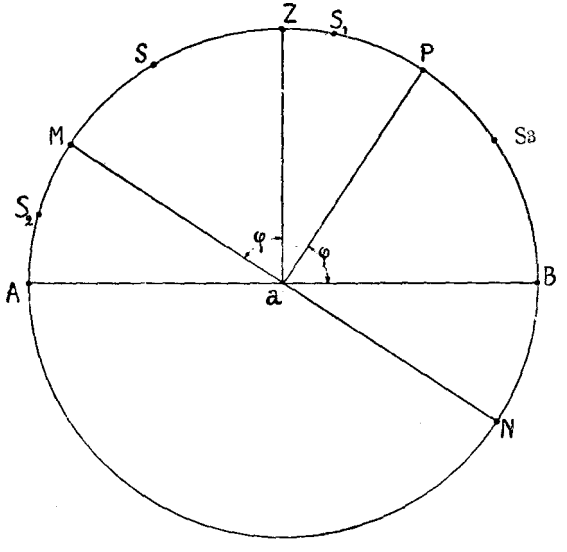


Рис. 51

Точно такъ же, если звѣзда α Больш. Медвѣдицы, склоненіе которой $\delta = +62^0 13'$, проходитъ въ Самарѣ во время верхней кульминаціи на $9^0 6'$ къ сѣверу отъ зенита, то широта Самары равняется $\varphi = 62^0 13' - 9^0 2' = 53^0 11$

Высота свѣтила въ меридіанѣ. Интересна и обратная задача. Не дѣлая никакихъ наблюденій, мы впередъ можемъ разсчитать, на какой высотѣ кульминируетъ извѣстная звѣзда въ городѣ, широта котораго извѣстна. Въ концѣ книги дана таблица географическихъ координатъ различныхъ пунктовъ земной поверхности, которой можно пользоваться при такихъ расчетахъ

Сравнимъ для примѣра, какъ высоко проходитъ въ верхней кульминаціи Вега въ Петроградѣ и Одессѣ.

Вычисленіе производится по формуламъ:

$$z + \delta = \varphi, \text{ откуда } z = \varphi - \delta$$

$$\text{и } h = 90^0 - z$$

Мы будемъ имѣть:	Петроградъ	Одесса
Широта	$\varphi = 59^0 57'$	$46^0 29'$

	Петроградъ	Одесса
Склоненіе Веги	$\delta =$ 38°42′	38°42′
Зенитн. разст	$z =$ 21°15′	7°47′
Высота	$h =$ 68°45′	82°13′

Склоненіе входитъ въ формулу

$$z = \varphi - \delta$$

гебранчески съ соотвѣтствующимъ знакомъ. Если звѣзда тогда склоненіе отрицательное, и надо абсолютное значеніе прибавить къ φ, чтобы получить z. Напримѣръ, опредѣлимъ высоту Сиріуса въ моментъ кульминаціи въ Москвѣ:

Широта Москвы $\varphi =$ 55°45′

склоненіе Сиріуса $\delta = -16°36'$

формулѣ $z = \varphi - \delta$

мы будемъ имѣть

$$z = 55°45' - (-16°36') = 55°45' + 16°36' - 72°21$$

и высота $h = 90° - 72°21' = 17°39'$

Это, конечно, и изъ чертежа ясно:

Высота звѣзды S_2 равняется AS_2, ея зенитное разстояніе $S_2Z = MZ + MS_2 = \varphi +$ разстояніе отъ экватора, т. е. для Сиріуса въ Москвѣ

$$z = 55°45' + 16°36' = 72°21'$$

Вспоминая, какъ разсчитать моментъ кульминаціи свѣтила (стр. 24), мы можемъ, такимъ образомъ, теперь дать вполнѣ опредѣленныя указанія относительно верхней кульминаціи свѣтила, координаты котораго извѣстны.

Изъ черт. 51 слѣдуетъ, что зенитное разстояніе звѣзды въ нижней кульминаціи $z = ZP + PS_3 = (90° - \varphi) + (90° - S_3N) = 90° - \varphi + 90° - \delta$,

т. е. $z = 180° - \varphi - \delta$

и, слѣдовательно высота звѣзды въ нижней кульминаціи

$$h = 90° - z = 90° - 180° + \varphi + \delta = \varphi + \delta - 90°$$

Задача 1. Опредѣлить, во сколько часовъ по гражданскому времени и на какой высотѣ проходитъ въ верхней кульминаціи Арктуръ (α Волопаса) въ Нижнемъ-Новгородѣ 25-го января ст. ст.

Отв. Въ 5 час. утра, на высотѣ 53°18′

Задача 2. Зенитное разстояніе Регула (α Льва) во время верхней кульминаціи оказалось 41°48′. Опредѣлить широту мѣста наблюденія

Отв. 54°12′

Опредѣленіе географической долготы. Суточное движеніе небеснаго свода совершается въ направленіи отъ востока къ западу Свѣтило проходитъ сначала черезъ меридіанъ одного мѣста, потомъ переходитъ на меридіанъ другого, лежащаго къ западу отъ перваго

Положимъ, въ Пулковѣ полдень, т. е. солнце проходитъ черезъ пулковскій меридіанъ. Ясно, что въ Казани, которая лежитъ къ востоку отъ Пулкова, полдень уже былъ, тамъ считается уже больше 12 часовъ. Наоборотъ, въ Ригѣ, лежащей къ западу отъ Пулкова, полдень еще не наступилъ.

Вращеніе небеснаго свода происходитъ въ 24 часа. Слѣдовательно въ каждый часъ онъ поворачивается на 15°, въ каждую минуту на 15′, въ каждую секунду на 15″ Отсюда слѣдуетъ, что разности долготъ можно выражать во времени это какъ разъ разности временъ въ двухъ пунктахъ земной поверхности въ одинъ и тотъ же физическій моментъ.

Долготу мѣста къ востоку отъ главнаго меридіана удобно считать положительной, къ западу отрицательной. Казань лежитъ 18°49′ къ востоку отъ пулковскаго меридіана. Поэтому время казанское впереди пулковскаго на 1 час. 15,3 мин. (18°49′=1 час. 15,3 мин.)

Рига лежитъ на 6°10′ къ западу отъ пулковскаго меридіана, рижское время назади пулковскаго на 24,7 минуты. Такимъ образомъ говорятъ, что относительно Пулкова долгота Казани=+1 час. 15,3 мин а долгота Риги = — 24,7 мин

Относительно Гринвича

долгота Казани = 3 час. 16,5 мин
„ Риги = 1 „ 36,5 „
разность этихъ долготъ = 1 „ 40 „

Это какъ разъ и будетъ 1 час. 15,3 мин.+24,7 мин

Рис. 52 даетъ общую картину разности временъ для различныхъ

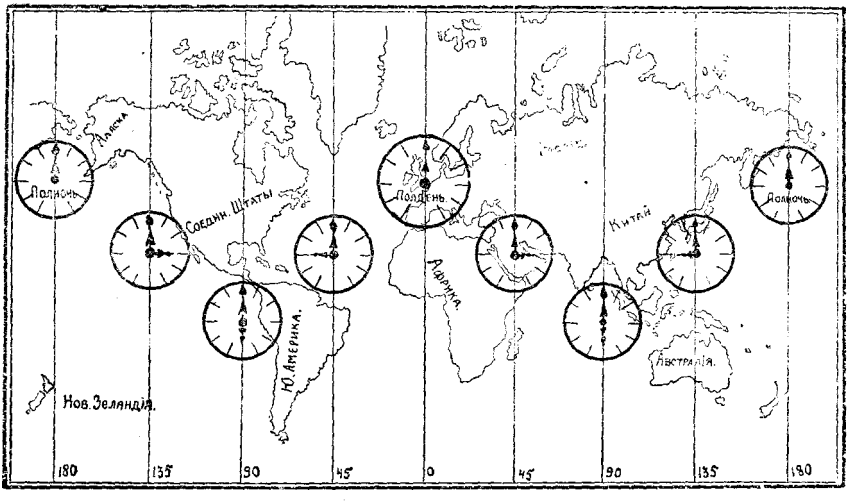


Рис. 52.

пунктовъ на земной поверхности въ зависимости отъ ихъ долготъ.

Способъ опредѣленія долготы мѣста, такимъ образомъ, по идеѣ простъ и ясенъ. Надо узнать время въ одномъ пунктѣ и въ другомъ для одного и того же физическаго момента; разность этихъ временъ и будетъ равна разности долготъ.

1-й способъ: телеграфные сигналы Въ пунктахъ A и B, разность

долготъ которыхъ надо опредѣлить, располагаются наблюдатели. Они по звѣздамъ повѣряютъ свои часы. Потомъ изъ одного пункта въ другой дается по телеграфу сигналъ. Надо только записать время, когда онъ былъ данъ въ пунктѣ A и когда полученъ въ пунктѣ B Разность этихъ временъ и даетъ разность долготъ, такъ какъ электрическій токъ распространяется почти мгновенно.

Примѣръ. Изъ Пулкова въ Потсдамъ былъ данъ сигналъ въ 10 час. 33 мин. 43 сек. по пулковскому времени

Этотъ сигналъ въ Потсдамѣ былъ принятъ въ 9 час. 24 мин. 40,5 секундъ.

Слѣдовательно, Потсдамъ лежитъ къ западу отъ Пулкова на 1 час. 9 мин. 2,5 секунды.

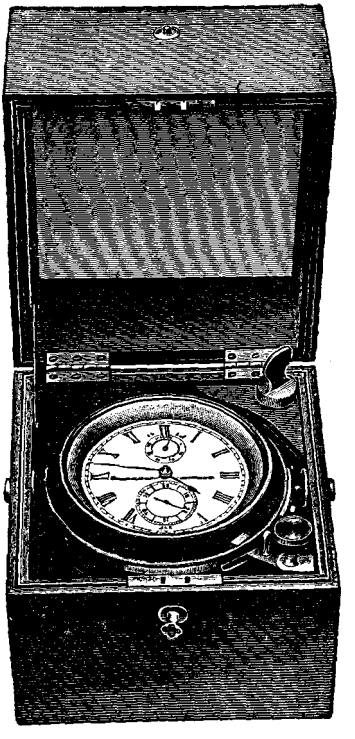


Рис. 53.

2-й способъ: перевозка хронометровъ — Второй способъ менѣе точный. Онъ употребляется тамъ, гдѣ нѣтъ телеграфа, напр., въ экспедиціяхъ при изслѣдованіи неизвѣстныхъ странъ и на морѣ.

Хронометръ это точные часы, идущіе дѣйствіемъ пружины. Болѣе обычный видъ его имѣемъ на рис. 53-емъ. Экспедиція и каждый корабль, отправляющійся въ далекое плаваніе, берутъ съ собой по нѣскольку хронометровъ, поставленныхъ по какому-нибудь опредѣленному меридіану, напримѣръ, гринвичскому. Хронометръ, конечно, регулярно заводятъ, но стрѣлокъ его не переставляютъ и всячески его оберегаютъ.

Положимъ, во время путешествія желаютъ опредѣлить долготу какого-либо мѣста. Для этого достаточно найти время даннаго мѣста. Оно будетъ, конечно, отличаться отъ того времени, которое показываетъ въ этотъ моментъ хронометръ. Разность даетъ долготу мѣста наблюденія отъ Гринвича.

Пусть, напримѣръ, по наблюденіямъ оказалось время на кораблѣ 8 час. 40 мин., а хронометръ, идущій по гринвичскому времени, показываетъ 11 час. 24 мин. Корабль, слѣдовательно, на 2 часа 44 мин. къ западу отъ меридіана Гринвича

Задача Въ одномъ изъ пунктовъ Средней Азіи наблюдалась верхняя кульминація Капеллы (α Возничаго) въ 2 часа 56 мин. по звѣздному хронометру, идущему по пулковскому времени. Какова долгота мѣста наблюденія?

Рѣшеніе Прямое восхожденіе Капеллы 5 час 10 мин

Въ моментъ верхней кульминаціи Капеллы звѣздное время равн прямому восхожденію этой звѣзды, слѣдовательно, 5 час. 10 мин стр. 24 Но хронометръ въ этотъ моментъ показываетъ пулковско время 2 час. 56 мин.

Отсюда заключаемъ, что мѣсто наблюденія лежитъ къ востоку отъ Пулкова на 5 ч. 10 м.—2 ч. 56 м. = 2 час. 14 мин

Граница даты.—Вернемся къ рис. 52. Пусть въ Гринвичѣ полдень воскресенья. Во всѣхъ мѣстахъ къ востоку отъ Гринвича уже больше полдня. На Уралѣ 4 часа дня, у Берингова залива уже полночь, кончилось воскресенье, начинается понедѣльникъ. Наоборотъ, на западъ отъ Гринвича еще нѣтъ полдня, въ Сѣверо-Америк. Соед. Штатахъ раннее утро, у Берингова пролива только начинается воскресенье. Такимъ образомъ, на той половинѣ меридіана Гринвича, которая идетъ по Тихому океану, мы будемъ имѣть и воскресенье и понедѣльникъ.

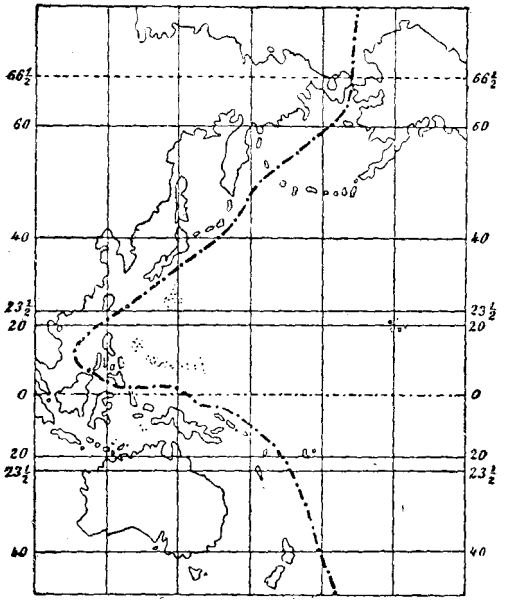


Рис. 54. Граница даты до 1844 г.

Колонисты, разселяясь по всему земному шару, ѣхали на западъ и на востокъ. При этомъ въ счетѣ дней произошли нѣкоторыя ненормальности: иногда оказывался впереди островъ, лежащій къ западу отъ другого, а иногда наоборотъ. Рис. 54 даетъ направленіе кривой, которая являлась до 1844 г. границей даты. Направо отъ нея считалось воскресенье (крайній западъ), въ то время, какъ налѣво былъ понедѣльникъ (крайній востокъ). Теперь корабль, пересѣкая въ Тихомъ океанѣ меридіанъ Гринвича, придерживается такого правила: кто ѣдетъ съ востока на западъ, тотъ два раза пишетъ день, въ который переходитъ черезъ меридіанъ Гринвича, кто ѣдетъ съ запада на востокъ, тотъ выбрасываетъ въ своемъ счетѣ этотъ день и прямо, напримѣръ, послѣ 1-го мая ставитъ 3-ье.

Практическое значеніе астрономіи. Выше, на стр. 25-ой мы отмѣтили, что астрономія имѣетъ большое значеніе для нашей жизни, такъ какъ регулируетъ времясчисленіе. Теперь мы видимъ новыя практическія приложенія астрономическихъ наблюденій, именно опредѣленія географическихъ координатъ различныхъ мѣстъ на земной поверхности и помощь въ мореплаваніи.

Обыкновенно говорятъ, что корабль находитъ путь въ морѣ по компасу. Но это не совсѣмъ точно. Руководствуясь показаніемъ компаса, можно дѣлать только сравнительно небольшіе переѣзды. Но въ океанѣ, гдѣ корабль можетъ значительно уклоняться отъ своего прямого

пути вслѣдствіе теченій, вѣтровъ и бурь, приходится время отъ времени опредѣлять положеніе корабля, т. е. его географическія координаты, а это можно сдѣлать только съ помощью астрономическихъ наблюденій

Такъ какъ вслѣдствіе волненій палуба корабля не остается вообще горизонтальной, то въ морѣ нельзя пользоваться универсальнымъ инструментомъ, въ которомъ одинъ кругъ долженъ быть непремѣнно горизонтальнымъ, а другой—вертикальнымъ.

Поэтому высоту свѣтила опредѣляютъ на кораблѣ съ помощью секстанта, прибора, изобрѣтеннаго Ньютономъ и получившаго свое названіе отъ того, что градусные отсчеты въ немъ дѣлаются на дугѣ круга, представляющей шестую часть окружности, т. е. 60°. Наблюдатель держитъ этотъ инструментъ при наблюденіи въ рукахъ рис. 55

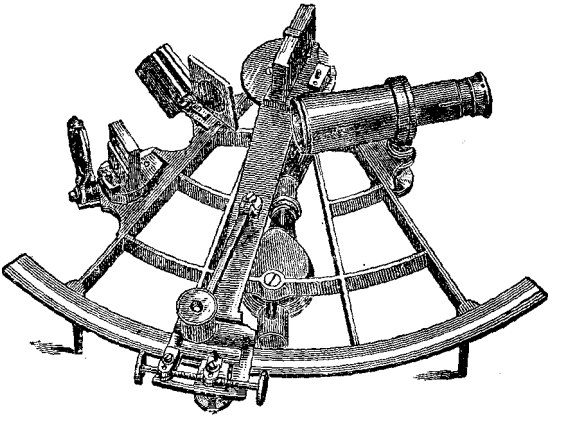


Рис. 55.

Видъ неба подъ различными широтами.—Тѣ ли звѣзды, какъ у насъ, видны на югѣ и далеко на сѣверѣ? Такъ ли онѣ располагаются на небѣ, такъ ли перемѣщаются въ суточномъ движеніи небеснаго свода?

Что касается относительнаго распредѣленія звѣздъ, то оно, конечно, одно и то же для всѣхъ наблюдателей, гдѣ бы они ни находились на земной поверхности: для всѣхъ одинаковы Большая Медвѣдица, Оріонъ и проч. созвѣздія. Но расположеніе самихъ созвѣздій на видимомъ небосклонѣ, ихъ перемѣщеніе въ суточномъ движеніи небеснаго свода и наибольшая высота надъ горизонтомъ будутъ различны для различныхъ пунктовъ земной поверхности. Нѣкоторыя звѣзды даже не будутъ видны въ однихъ мѣстахъ наблюденія, другія не поднимаются надъ горизонтомъ въ другихъ.

Это, конечно, понятно: вѣдь ось, около которой видимо вращается небесный сводъ, въ различныхъ мѣстахъ земной поверхности различно наклонена къ горизонту. Высота полюса равна широтѣ мѣста. Для горизонта сѣвернаго полюса на землѣ ось міра вертикальна (широта $=90^0$). На экваторѣ она совпадаетъ съ горизонтомъ, и Полярная почти не поднимается надъ горизонтомъ (широта $=0^0$) Вмѣстѣ съ тѣмъ мѣняется вся картина звѣзднаго неба. Если мы переходимъ отъ полюса къ экватору, то весь сводъ небесный, какъ одно цѣлое, какъ бы поворачивается на 90^0, такъ что ось его вращенія изъ вертикальной дѣлается горизонтальной.

Какъ происходитъ суточное движеніе небеснаго свода для наблюдателя на сѣверномъ полюсѣ земли? Какія звѣзды доступны его наблюденію?

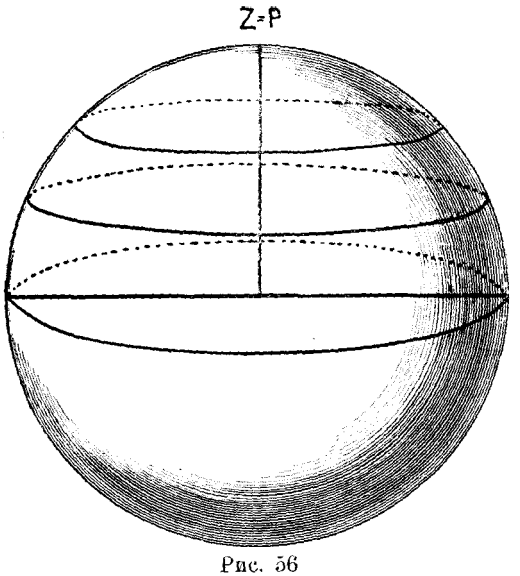


Рис. 56

Звѣзды описываютъ въ своемъ суточномъ движеніи параллельные круги, перпендикулярные оси міра. Въ данномъ случаѣ ось міра вертикальна, полюсъ совпадаетъ съ зенитомъ. Слѣдовательно, всѣ свѣтила будутъ описывать круги параллельные горизонту, каждое изъ нихъ остается всегда на одной и той же опредѣленной высотѣ. Экваторъ совпадаетъ съ горизонтомъ. Такимъ образомъ, всѣ звѣзды сѣвернаго полушарія надъ горизонтомъ, всѣ звѣзды южнаго подъ горизонтомъ (рис. 56)

Такъ какъ склоненіе солнца въ теченіе половины года положительно, то полгода солнце надъ горизонтомъ, полгода подъ горизонтомъ и невидимо. Полгода сплошной день, полгода сплошная ночь *)

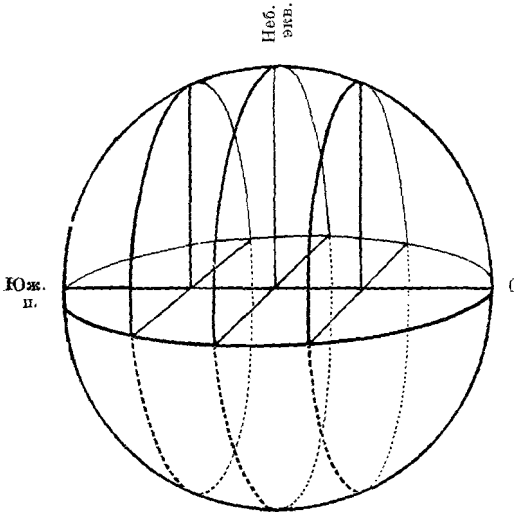


Рис. 57

Какъ происходитъ суточное движеніе небеснаго свода для наблюдателя на экваторѣ?

Ось міра — въ плоскости горизонта (рис. 57). Небесный экваторъ и всѣ суточныя параллели звѣздъ перпендикулярны горизонту. Каждая звѣзда остается надъ горизонтомъ 12 часовъ и подъ горизонтомъ тоже 12 часовъ.

Доступны наблюденію всѣ свѣтила какъ сѣвернаго, такъ и южнаго полушарія.

*) На самомъ дѣлѣ полярный день нѣсколько больше ночи. Это происходитъ съ одной стороны вслѣдствіе того, что солнце проходитъ сѣверную часть эклиптики дольше, чѣмъ южную, съ другой вслѣдствіе рефракціи, которая приподнимаетъ свѣтило, такъ что солнце будетъ видимо надъ горизонтомъ, когда на самомъ дѣлѣ его центръ еще далеко не дойдетъ до экватора.

Подъ средней широтой ось міра стоитъ наклонно къ горизонту (рис. 58)

Звѣзда экваторіальная въ своемъ суточномъ движеніи проходитъ надъ горизонтомъ въ теченіе 12 часовъ и въ теченіе 12 часовъ остается подъ горизонтомъ. Но звѣзда съ южнымъ склоненіемъ можетъ быть видима меньше; большую часть сутокъ она остается подъ горизонтомъ. Сѣверная звѣзда, наоборотъ, описываетъ большую часть своего пути надъ горизонтомъ, меньшую подъ горизонтомъ.

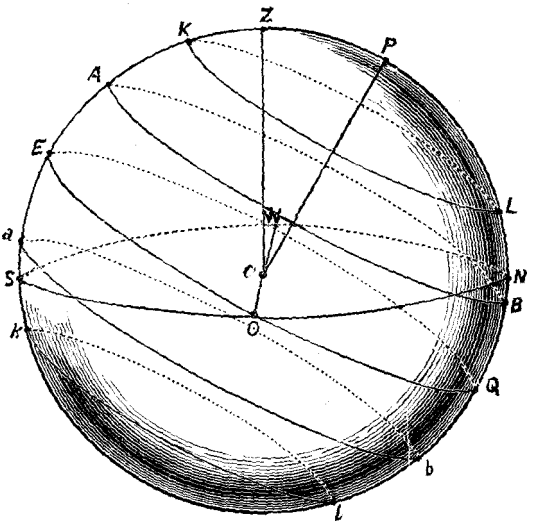


Рис. 58.

Чѣмъ сѣвернѣе свѣтило, тѣмъ дольше оно остается въ своемъ суточномъ движеніи надъ горизонтомъ, тѣмъ дальше къ сѣверу его точка восхода и захода.

Незаходящія и невосходящія звѣзды. — На рис. 59 видно, что тѣ звѣзды, для которыхъ разстояніе отъ экватора, т. е. склоненіе, больше, чѣмъ 90 φ совсѣмъ не будутъ заходить.

Точно такъ же, если южное склоненіе звѣзды по абсолютному своему значенію больше $90-\varphi$, она не будетъ восходить.

Такимъ образомъ, мы не видимъ многихъ звѣздъ южнаго полушарія.

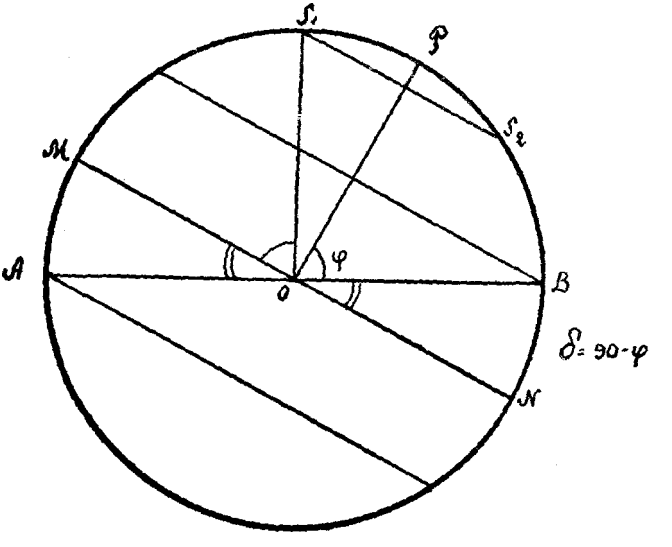


Рис 59

Чѣмъ сѣвернѣе мѣсто наблюденія, тѣмъ ниже надъ южной частью горизонта поднимаются свѣтила въ верхней кульминаціи и тѣмъ выше они въ нижней. На стр. 41-й мы разсчитали, что Вега въ

верхней кульминаціи въ Петроградѣ имѣетъ высоту 68°45′, а въ Одессѣ 82°13′

Нетрудно также впередъ выяснить, что для Петрограда эта звѣзда незаходящая, а въ Одессѣ она заходитъ.

	Петроградъ	Одесса
Широта	$\varphi = 59^0 57'$	$46^0 29'$
	$90 - \varphi = 30^0\ 3'$	$43^0 31'$
Склоненіе Веги	$= 38^0 42'$	
Слѣдовательно,	$\delta > 90^0 - \varphi$	$\delta < 90^0 - \varphi$
Звѣзда	не заходитъ	заходитъ.

Задача 1 Заходитъ ли въ Москвѣ Касторъ (α Близнецовъ), склоненіе котораго $= +32^0 5'$?

Задача 2 Восходитъ ли въ Архангельскѣ Фомальгаутъ (α Южн Рыбъ), склоненіе котораго $= -30^0 5'$?

Задача 3 На какой высотѣ проходитъ Капелла (α Возничаго) въ верхней и нижней кульминаціяхъ въ Юрьевѣ (Лифл. губ.)?

Отв. Въ верхн. кульм. высота$=77^0 32'$, въ нижн. кульм.$=14^0 18'$

Задача 4 Для какихъ широтъ солнце 8-го іюня не заходитъ?

Отв. Для широтъ, большихъ $66^0 30'$

Задача 5. Начертить небесный экваторъ и эклиптику для наблюдателя, находящагося на полюсѣ.

Задача 6 То же для наблюдателя, находящагося на экваторѣ.

Задача 7 То же для широты $+ 23^1/_2{}^0$

Задача 8 То же для широты $- 23^1/_2{}^0$

Глава X **Географическія и звѣздныя карты**

Съ помощью астрономическихъ наблюденій опредѣляются географическія широты и долготы мѣстъ земной поверхности.

Зная же географическія координаты различныхъ пунктовъ, мы можемъ составить и карту той или другой области. Но при этомъ необходимы нѣкоторые математическіе расчеты.

Географическая карта—это изображеніе на плоскости нѣкоторой части сферической поверхности земли. Конечно, это изображеніе должно быть произведено въ извѣстной пропорціональности. Нужно вообразить сферу спроектированной на плоскость, такъ назыв. картинную плоскость.

Ортографическая проекція Представимъ себѣ, напримѣръ, что мы смотримъ на полусферу изъ безконечности, удалившись по направленію радіуса, идущаго къ полюсу.

Лучи зрѣнія, т. е. линіи изъ глаза наблюдателя къ различнымъ точкамъ на сферѣ будутъ въ этомъ случаѣ параллельны (рис 60) Пусть картинная плоскость проходитъ черезъ центръ сферы и перпендикулярна этимъ лучамъ зрѣнія (плоскость экватора). Послѣдніе оставятъ на ней рядъ точекъ, которыя и представятъ соотвѣтствующія положенія на картѣ различныхъ мѣстъ на сферѣ.

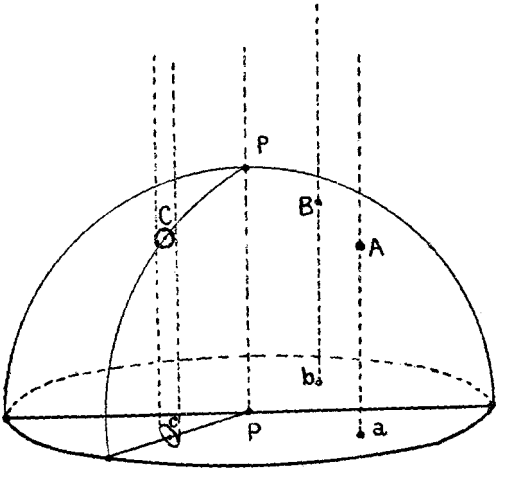


Рис. 60.

При этомъ, очевидно, въ центрѣ получится изображеніе полюса. Всѣ меридіаны представятся прямыми, расходящимися въ видѣ радіусовъ изъ этого центра, параллели дадутъ рядъ концентрическихъ круговъ, но при равныхъ разстояніяхъ между параллелями разстоянія между соотвѣтствующими имъ концентрическими кругами на плоскости не будутъ одинаковы. Эти круги будутъ тѣмъ тѣснѣе, чѣмъ дальше они отъ центра (рис. 61). Это понятно, такъ какъ поверхность шара, если итти отъ полюса къ экватору, постепенно изъ перпендикулярной къ лучамъ зрѣнія переходитъ въ параллельную имъ.

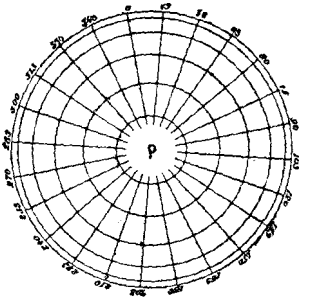


Рис. 61

Кружокъ *C* на сферѣ не будетъ представленъ кружочкомъ на плоскости, а явится въ видѣ сжатаго овала (*c*), переходящаго у самаго экватора въ прямую (рис. 60)

Такимъ образомъ, на картѣ мы не получимъ тѣхъ же контуровъ, какіе взяты на сферѣ, будетъ имѣть мѣсто искаженіе, но между контурами на сферѣ и ихъ изображеніями на картѣ должны быть всегда опредѣленныя соотношенія.

Воображая глазъ наблюдателя поставленнымъ относительно полюса сферы иначе, мы получимъ и другую картину.

Если, напримѣръ, за картинную плоскость взять не плоскость экватора, а плоскость меридіана и глазъ считать удаленнымъ въ направленіи, перпендикулярномъ къ этому меридіану, то сѣтка параллельныхъ круговъ и меридіановъ представится такъ, какъ имѣемъ на

рис 62 Здѣсь параллельные круги являются въ видѣ прямыхъ линій меридіаны овалами, между которыми разстоянія становятся меньше по мѣрѣ удаленія отъ центральнаго меридіана.

Проекціи, получающіяся въ предположеніи, что точка зрѣнія находится въ безконечности, какъ въ двухъ указанныхъ случаяхъ, называются ортографическими, т. е. прямо-рисующими.

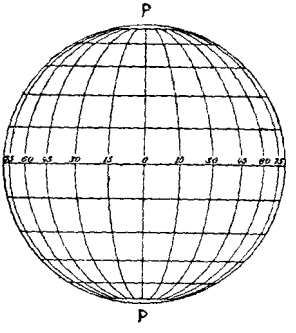


Рис. 62

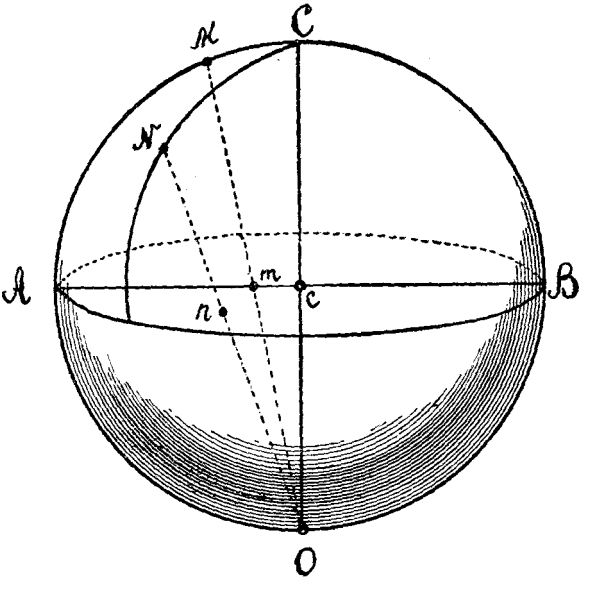


Рис. 63

Стереографическая проекція.—Можно вообразить точку зрѣнія на поверхности шара, тогда получимъ такъ называемую стереографическую проекцію.

Если точка зрѣнія въ одномъ изъ полюсовъ, а картинная плоскость совпадаетъ съ плоскостью экватора (рис. 63), тогда при проектированіи полусферы *ABC* получится картина, которую имѣемъ на рис. 64

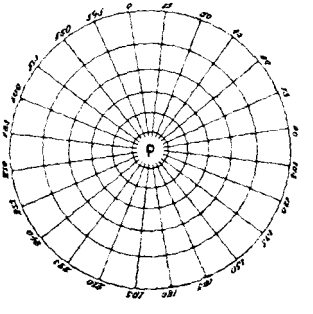


Рис. 64.

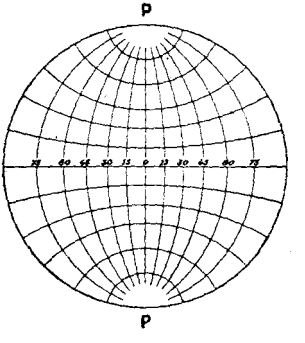


Рис. 65

Здѣсь меридіаны такъ же, какъ въ первой,ортографической, проекціи, изображаются прямыми, радіально расходящимися изъ точки, являющейся изображеніемъ полюса. Параллельные круги представятся тоже концентрическими кругами, но разстоянія между этими кругами будутъ въ этомъ случаѣ, какъ разъ наоборотъ, тѣмъ больше, чѣмъ они дальше отъ центра.

Когда точка зрѣнія лежитъ на экваторѣ, а картинная плоскость совпадаетъ съ плоскостью какого-нибудь меридіана, то получится сѣтка представляемая рис. 65-мъ (Сравнить съ рис 62-мъ)

Проекція Меркатора Большое удобство, особенно въ морской практикѣ и вообще для изображенія на картѣ странъ экваторіальныхъ имѣетъ проекція голландца Меркатора, въ которой и меридіаны, и параллели представляются системами параллельныхъ прямыхъ.

На сферѣ разстояніе между меридіанами, чѣмъ ближе къ полюсу тѣмъ меньше ($ab < AB$ на рис. 49) уменьшеніе пропорціонально $\cos\varphi$, гдѣ φ—широта параллели, такъ какъ дуги одного и того же числа градусовъ пропорціональны радіусамъ, а изъ чертежа непосредственно имѣемъ

$$r = R\cos\omega$$

Поэтому, если градусы меридіана изобразить отрѣзками прямой такого же протяженія, какъ и градусы всѣхъ параллелей, то произойдетъ большое искаженіе—именно растяженіе по параллели Оно будетъ особенно значительно, если разстояніе контура отъ экватора большое

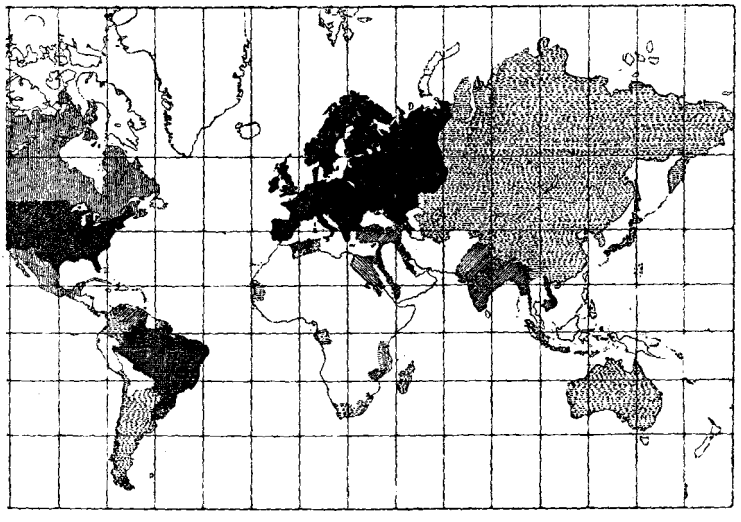


Рис. 66 Статистическая карта всѣхъ частей свѣта въ проекціи Меркатора

Для возстановленія пропорціональности въ изображаемомъ контурѣ Меркаторъ и предложилъ увеличивать длину градуса меридіана на картѣ въ отношеніи, обратномъ тому, въ какомъ въ дѣйствительности уменьшается длина градуса параллели. Такимъ образомъ получается сѣтка не изъ квадратовъ, а изъ прямоугольниковъ, высота которыхъ растетъ все больше и больше по мѣрѣ того, какъ они удаляются отъ экватора (рис. 66)

Коническая проекція Изображаютъ иногда часть сферы на конусѣ касающемся къ ней по параллели. Соединяя различныя точки этой параллели съ вершиной конуса, получаемъ систему меридіановъ: ao, bo, co и т. д. А рядъ параллельныхъ окружностей, проведенныхъ на конусѣ на тѣхъ же разстояніяхъ другъ отъ друга, какъ параллели на сферѣ, представитъ систему этихъ послѣднихъ (рис. 67: $am = aa_1$, $mn = a_1a_2$ и т. д.)

Разверстывая поверхность конуса въ плоскость, имѣемъ картину, какъ на рис. 68

Такая проекція употребляется обыкновенно для изображенія срав нительно небольшихъ отдѣльныхъ странъ

Земной глобусъ Безъ искаженія земную поверхность можно представлять только на шарѣ, такъ называемомъ глобусѣ. Но такъ какъ размѣры глобуса на практикѣ не могутъ быть велики, то на немъ и не можетъ быть нанесено деталей.

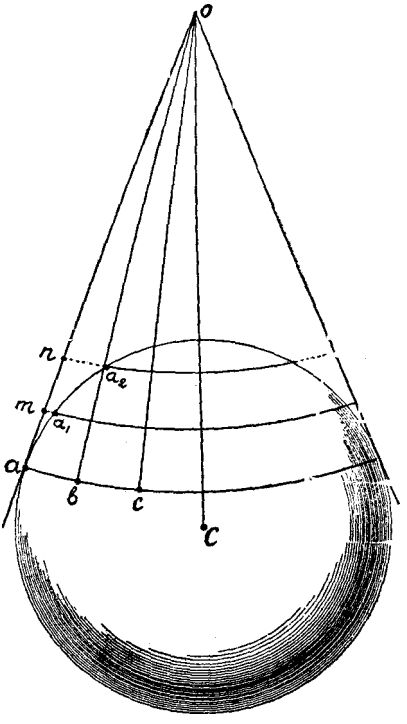


Рис. 67

Звѣздныя карты Звѣздныя карты составляются по тѣмъ же расчетамъ, какъ и географическія. Только роль меридіановъ будутъ играть круги склоненія, вмѣсто па-

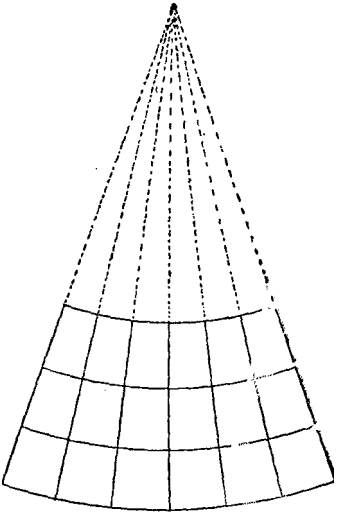


Рис. 68.

раллельныхъ круговъ различныхъ широтъ будутъ параллельные круги различныхъ склоненій.

Смотря по задачѣ, выбираютъ наиболѣе удобную проекцію

Первая изъ приложенныхъ въ концѣ книги картъ сдѣлана въ стереографической проекціи, при чемъ за картинную плоскость взята плоскость экватора, вторая—въ проектѣ Меркатора.

Небесный глобусъ Такъ же, какъ землю, можно и небо представить на шарѣ

Въ этомъ случаѣ только явится нѣкоторое несоотвѣтствіе Наблюдатель смотритъ на глобусъ, представляющій небо *извнѣ*, тогда какъ въ дѣйствительности звѣзды *внутри* видимаго нами небеснаго свода. Шаръ съ изображеніемъ звѣздъ и сѣткой круговъ склоненія и параллелей долженъ вращаться около оси, проходящей черезъ центръ, при чемъ наклонъ этой оси къ плоскости кольца *НН* (рис. 69), пред-

ставляющей горизонтъ, можетъ мѣняться по желанію. Установивши глобусъ для опредѣленной широты можно наглядно рѣшать различныя задачи о движеніи и расположеніи звѣздъ для различныхъ пунктовъ лежащихъ на этой параллели.

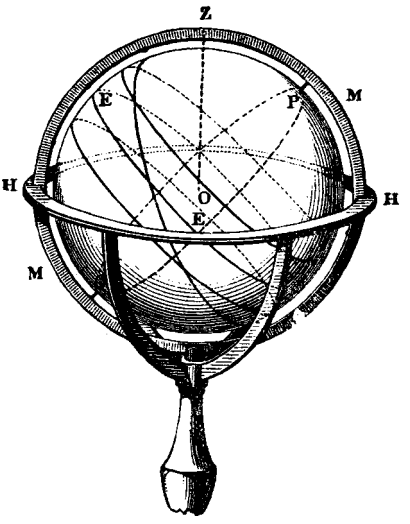


Рис 69

Но, конечно, всего лучше, если всякій попробуетъ разобраться въ суточномъ движеніи небеснаго свода для своего горизонта безъ всякаго глобуса, по непосредственнымъ наблюденіямъ на небѣ. Уяснивши, какъ вращается сводъ небесный для даннаго мѣста, наблюдатель легко представитъ и всѣ явленія, имѣющія мѣсто для другого мѣста наблюденія

Глава XI **Истинная фигура земли**

Градусное измѣреніе Эратосѳена За 230 лѣтъ до Р. Хр. александрійскій астрономъ Эратосѳенъ сдѣлалъ попытку опредѣлить съ помощью непосредственныхъ измѣреній размѣры земли, которую онъ считалъ за шаръ. Онъ зналъ, что въ полдень наиболѣе длиннаго дня въ гор. Сіенѣ (теперь Ассуанъ въ Верхнемъ Египтѣ, на берегу Нила) солнце стоитъ въ зенитѣ оно видно какъ разъ надъ головой со дна глубокихъ колодцевъ. Въ то же время въ Александріи, какъ выходило изъ наблюденій по гномону, оно на $7^{0}12'$, т. е. на $^{1}/_{50}$ окружности отклонено отъ зенита. Такимъ образомъ, уголъ zAS измѣряется $^{1}/_{50}$ окружности. Эратосѳенъ понялъ, что если принять Александрію и Сіену на одномъ меридіанѣ, то дуга AC тоже слѣдовательно, $= {}^{1}/_{50}$ окружности (рис. 70)

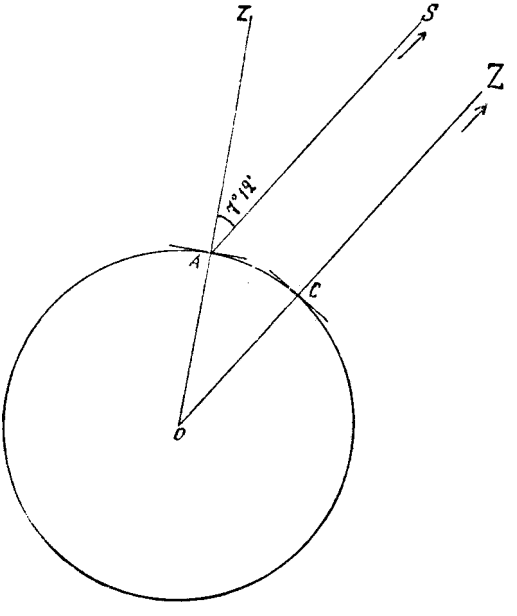


Рис. 70.

По скорости движенія каравановъ онъ разсчиталъ, что разстояніе между Александріей и Сіеной составляетъ 5000 стадій. Отсюда прямо получается окружность меридіана равной 5000 × 50 = 250000 стадій, а радіусъ земли = 39789 стадій.

Послѣ открытія Америки и большихъ кругосвѣтныхъ путешествій вопросъ о размѣрахъ земли и ея дѣйствительной формѣ получаетъ особенный интересъ. Предпринимается рядъ спеціальныхъ градусныхъ измѣреній по способу Эратосѳена, но въ болѣе совершенномъ видѣ

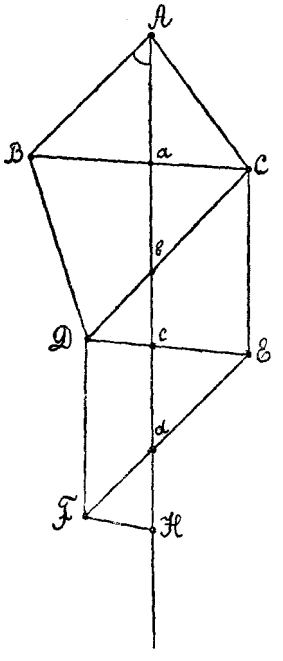


Рис. 71

Тріангуляція.—Измѣрить большую дугу непосредственно нельзя. На пути могутъ быть лѣса, горы, болота, моря и т. п. Голландскій ученый Снелліусъ обошелъ это затрудненіе предложивши способъ, который носитъ названіе тріангуляціи, потому что при измѣреніи дуги строится цѣлый рядъ треугольниковъ. Самая дуга полностью не измѣряется, но длина ея опредѣляется вычисленіемъ на основаніи измѣренія одной стороны треугольника и ряда угловъ.

Положимъ, надо измѣрить длину дуги меридіана отъ A до H (рис. 71).

Поставимъ въ точкахъ A, B, C, D сигналы въ видѣ высокихъ пирамидъ, которыя можно видѣть за нѣсколько верстъ.

Измѣримъ хорошо выбранное, ровное, гладкое протяженіе AB — такъ называемый базисъ, и съ помощью универсальнаго инструмента, перенося его въ точки A, B, C.... опредѣлимъ всѣ углы въ треугольникахъ: ABC, CBD, DCE...

Опредѣлимъ еще азимутъ направленія AB, т. е. HAB, тогда мы можемъ вычислить длину AH, какъ сумму отрѣзковъ: Aa, ab, bc, cd, dH, получаемыхъ послѣдовательнымъ рѣшеніемъ треугольниковъ

Aa изъ △-ка ABa

ab изъ △-ка aCb (сторона BC изъ △-ка ABC, $aC = BC - Ba$ и $\angle a$ изъ △-ка BAa, $\angle C$ по измѣренію)

bc изъ △-ка bDc (DC изъ △-ка BCD, bC изъ △-ка aCb, $Db = DC - bC$, $\angle b$ изъ △-ка aCb, $\angle D$ по измѣренію) и т. д.

Остается опредѣлить широты конечныхъ точекъ A и H

Разность этихъ широтъ и даетъ дугу AH въ градусахъ.

Такимъ образомъ мы будемъ имѣть съ одной стороны дугу AH въ линейныхъ мѣрахъ, съ другой въ градусахъ.

Пусть AH имѣетъ α^0 и равна по длинѣ d верстъ

Тогда, называя радіусъ земли черезъ r, мы можемъ составить уравненіе

$$\frac{2\pi r}{360}\alpha = d,$$

изъ котораго и опредѣляется радіусъ $r = \frac{360 \cdot d}{2\pi\alpha}$

Можно опредѣлить также длину одного градуса измѣренной дуги Она будетъ, очевидно равна $\frac{d}{\alpha}$

Такія градусныя измѣренія были произведены во многихъ странахъ

Одно изъ самыхъ большихъ и точныхъ было сдѣлано въ Россіи по меридіану города Юрьева (въ то время Дерпта). Оно было начато знаменитымъ астрономомъ В. Струве и простиралось на 25°20′ отъ береговъ Сѣверо-Ледовитаго океана до Дуная. Въ 1899 1901 г. шведо-русскія экспедиціи производили градусныя измѣренія на Шпицбергенѣ, которыя можно разсматривать, какъ продолженіе измѣреній дерптской дуги.

Рис 72. Вильгельмъ Струве

Вильгельмъ Струве рис. 72 родился въ 1793 г въ гор. Альтонѣ. Учился въ дерптскомъ университетѣ Своими работами прославилъ дерптскую обсерваторію, основалъ пулковскую. Скончался въ 1864 году

Изъ совокупности измѣреній различныхъ дугъ, сдѣланныхъ въ различныхъ частяхъ земной поверхности, выступилъ ясно фактъ, что длина дуги меридіана въ 1^0 у экватора меньше, чѣмъ въ странахъ, болѣе сѣверныхъ

Географ. широта	Длина дуги меридіана въ 1^0
0^0	110,56 клм
20	110,70 „
40	111,03 „
60	111,41 „
80	111,65 „

Это указываетъ на то, что земля не шаръ, а сплюснута по оси вращенія. Въ самомъ дѣлѣ, если дуга AB въ 10^0 имѣетъ длину бо́льшую, чѣмъ дуга ab тоже въ 10^0 (рис. 73), то значитъ первая дуга какъ бы принадлежитъ бо́льшей окружности, а вторая меньшей. Земля, слѣдовательно, близъ полюса меньше закривлена. Наоборотъ, у экватора закривленіе ея больше.

Такой формы земли, которая соотвѣтствовала бы вполнѣ всѣмъ измѣреніямъ, до сихъ поръ не удалось подобрать.

Но довольно хорошо удовлетворяетъ предположеніе, что земля есть эллипсоидъ вращенія около малой оси.

Такимъ образомъ, всѣ меридіаны на землѣ являются эллипсами* а экваторъ и параллели кругами.

По вычисленію Кларка радіусъ экватора или большая полуось меридіана, принимаемаго за эллипсъ,

$$a = 6378{,}2 \text{ километровъ},$$

малая же полуось $b = 6356{,}5$ „

Разность наибольшаго и наименьшаго радіусовъ земли составляетъ, такимъ образомъ, около 22 километровъ

$$a - b = 21{,}7$$

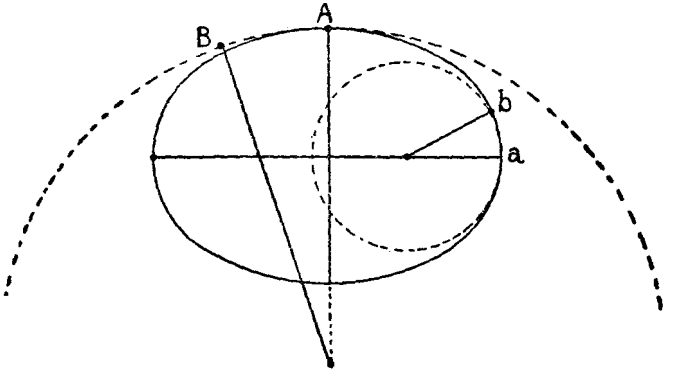


Рис 73

Интересно отмѣтить, какую часть большой полуоси составляетъ эта разность

Мы имѣемъ

$$c = \frac{a-b}{a} = \frac{21{,}7}{6378} = \frac{1}{294}$$

или, просто, около $\frac{1}{300}$

Величина c называется сжатіемъ. Она характеризуетъ, насколько уклоняется тѣло отъ формы сферы. Для земли сжатіе незначительное, c малая дробь

Для нѣкоторыхъ другихъ небесныхъ тѣлъ, какъ увидимъ ниже сжатіе гораздо больше

Глава XII **Доказательства вращенія земли**

Форма земли Непосредственныя измѣренія различныхъ дугъ на земной поверхности обнаружили, что земля вытянута по экватору и сжата у полюсовъ. Это и указываетъ на то, что она вращается. Сжатіе земли могло явиться результатомъ дѣйствія центробѣжной силы въ то время, когда земля находилась въ жидкомъ состояніи. Извѣстный физическій опытъ иллюстрируетъ это явленіе (рис. 74) Чѣмъ дальше точка отъ оси вращенія, тѣмъ больше центробѣжная сила, и если точка удобоподвижна, она будетъ отброшена при вращеніи на большее разстояніе

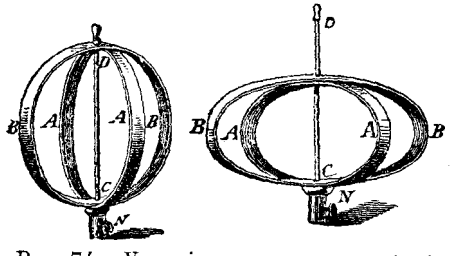


Рис. 74. Упругія стальныя кольца при быстромъ вращеніи около оси CD вытягиваются по направленію, перпендикулярному этой оси

*) Общее понятіе объ эллипсѣ и эллипсоидѣ дано въ приложеніи въ концѣ книги

Уменьшеніе силы тяжести у экватора Разъ земля вращается, дѣйствіе центробѣжной силы должно проявляться и теперь, хотя земля давно уже покрылась твердой корой. Именно, вслѣдствіе центробѣжной силы должна уменьшаться сила тяжести по мѣрѣ того, какъ мы переходимъ изъ сѣверныхъ или южныхъ странъ въ экваторіальныя. Это такъ и есть на самомъ дѣлѣ. Въ 1672 году французскій астрономъ Рише отправился въ Южную Америку, въ Кайену, наблюдать Марса. Онъ съ удивленіемъ замѣтилъ, что его часы въ Кайенѣ стали отставать. Пришлось укоротить маятникъ, чтобы часы шли вѣрно. Но, когда Рише возвратился въ Парижъ, оказался новый сюрпризъ—часы шли теперь впередъ, такъ что приходилось вновь удлинять маятникъ. Ясно, что на ходъ часовъ вліяетъ географическое положеніе мѣста наблюденія Ньютонъ понялъ, что причина въ различномъ напряженіи силы тяжести

Какъ извѣстно изъ физики, время колебанія маятника $t = \pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ гдѣ l — длина маятника, а g ускореніе силы тяжести.

Если напряженіе силы тяжести будетъ больше, а слѣдовательно, и g больше, то t окажется меньше. Наоборотъ, съ уменьшеніемъ g увеличится t, часы будутъ отставать, какъ было у Рише въ Кайенѣ.

На экваторѣ g всего меньше вслѣдствіе того, что тамъ наибольшее дѣйствіе центробѣжной силы. Правда, излишекъ массы на экваторѣ уменьшаетъ нѣсколько ослабляющее вліяніе этой центробѣжной силы на тяжесть, но все-таки оно значительно и можетъ быть всегда обнаружено съ помощью чувствительныхъ пружинныхъ вѣсовъ*) и маятника.

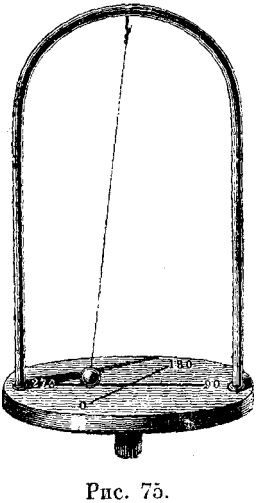


Рис. 75.

Будемъ качать одинъ и тотъ же маятникъ въ различныхъ пунктахъ земной поверхности. По времени его колебанія въ этихъ опытахъ можно судить объ измѣненіи напряженія силы тяжести, а слѣдовательно, также о формѣ земли и ея вращеніи.

Маятникъ Фуко Маятникъ можетъ и другимъ образомъ показать вращеніе земли

Для каждаго свободнаго маятника плоскость качанія остается постоянной.

Это свойство можно легко провѣрить на слѣдующемъ опытѣ. Возьмемъ маятникъ, прикрѣпленный къ рамѣ (рис. 75), и пустимъ его

*) Обыкновенные вѣсы съ гирями не годятся, потому что грузъ на одной чашкѣ и гири на другой одинаково потеряютъ въ вѣсѣ, и вѣсы останутся въ равновѣсіи Но на пружинныхъ вѣсахъ каждое тѣло будетъ казаться у экватора легче, чѣмъ у полюсовъ

по опредѣленному направленію, а потомъ станем поворачивать раму съ подставкой, тогда сразу будетъ видно, что маятникъ не принимаетъ участія въ этомъ вращеніи и, несмотря на закручиваніе нити все время качается по прежнему направленію.

Но если взять маятникъ, который можетъ качаться долго на примѣръ, тяжелый шаръ на длинной нити, прикрѣпленной къ потолку высокаго зданія, то, пустивши его, мы увидимъ, что плоскость качаній маятника правильно и постепенно отклоняется къ западу. Это отклоненіе и есть отраженіе вращенія земли съ запада на востокъ

Наибольшее отклоненіе маятника имѣетъ мѣсто на полюсахъ, гдѣ плоскость горизонта перпендикулярна оси вращенія. Полный оборотъ около своей оси земля совершаетъ въ 24 часа. Слѣдовательно, въ 1 часъ плоскость качанія маятника должна видимо отклониться на 15^0, потому что полъ, надъ которымъ качается маятникъ, и всѣ предметы на этомъ полу вслѣдствіе вращенія земли перемѣстятся относительно вертикальной оси какъ разъ на 15^0 въ часъ, тогда какъ плоскость качанія маятника остается въ пространствѣ неизмѣнной (рис. 76) Наоборотъ, на экваторѣ горизонтальная плоскость параллельна оси вращенія земли. Положимъ, напримѣръ, маятникъ нашъ началъ качаться въ плоскости меридіана Въ каждый слѣдующій моментъ онъ будетъ совершать свои качанія въ той же плоскости меридіана и никакого отклоненія плоскости качанія маятника относительно окружающихъ предметовъ не произойдетъ. Такимъ образомъ, при географической широтѣ $=90^0$ отклоненіе маятника въ каждый часъ 15^0,при широтѣ 0^0 отклоненіе равно 0^0 Въ общемъ случаѣ отклоненіе $= 15^0 \sin\varphi$, если широту мѣста обозначить черезъ φ

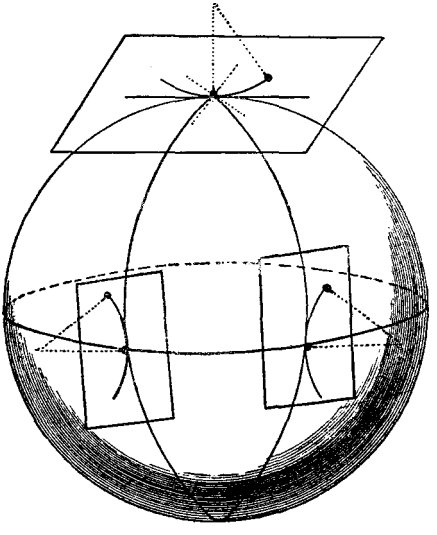


Рис. 76.

Въ механикѣ доказывается, что два вращательныхъ движенія могутъ быть соединены въ одно сложное вращательное движеніе, и, наоборотъ, вращательное движеніе можетъ быть разложено на два вращательныхъ движенія, напримѣръ, вертикальное и горизонтальное.

Пусть, напримѣръ, мы имѣемъ вращеніе около оси AB.

Отложимъ на этой оси такъ называемую угловую скорость ω, т. е. длину дуги, которую пробѣгаетъ въ секунду точка, отстоящая отъ оси на разстояніе единицы. Эту угловую скорость разложимъ на горизонтальную и вертикальную составляющія, другими словами, представимъ вращеніе около оси

AB двумя вращеніями: около оси AC, со скоростью $\omega\cos\varphi$, и около оси AD, со скоростью $\omega\sin\varphi$, какъ слѣдуетъ изъ прямоугольн. треугольника ABD (рис. 77)

Первое вращеніе на положеніе плоскости качанія маятника не окажетъ вліянія, такъ какъ кругъ, на которомъ виситъ маятникъ, не

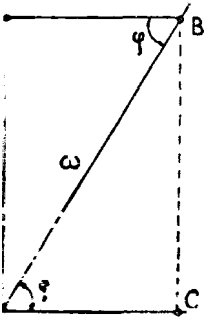


Рис 77

ожетъ приблизиться къ полу. Остается только вращеніе около оси вертикальной со скоростью $\omega\sin\varphi$.

Для наблюдателя, находящагося на экваторѣ, ось вращенія земли совпадаетъ съ плоскостью горизонта, т. е. $\varphi = 0$, и угловая скорость вращенія слѣдовательно $= 0$ Плоскость качанія маятника совсѣмъ не будетъ смѣщаться относительно окружающихъ предметовъ

На полюсѣ $\varphi = 90^0$, угловая скорость вращенія около вертикальной оси $= \omega$, плоскость качанія маятника видимо измѣняетъ свое положеніе относительно предметовъ, при чемъ полный оборотъ сдѣлаетъ, какъ и земля, въ 24 часа, т. е. въ часъ отступитъ на 15^0

Въ общемъ случаѣ при широтѣ мѣста наблюденія φ видимое перемѣщеніе плоскости качанія маятника будетъ $15^0\sin\varphi$ въ часъ

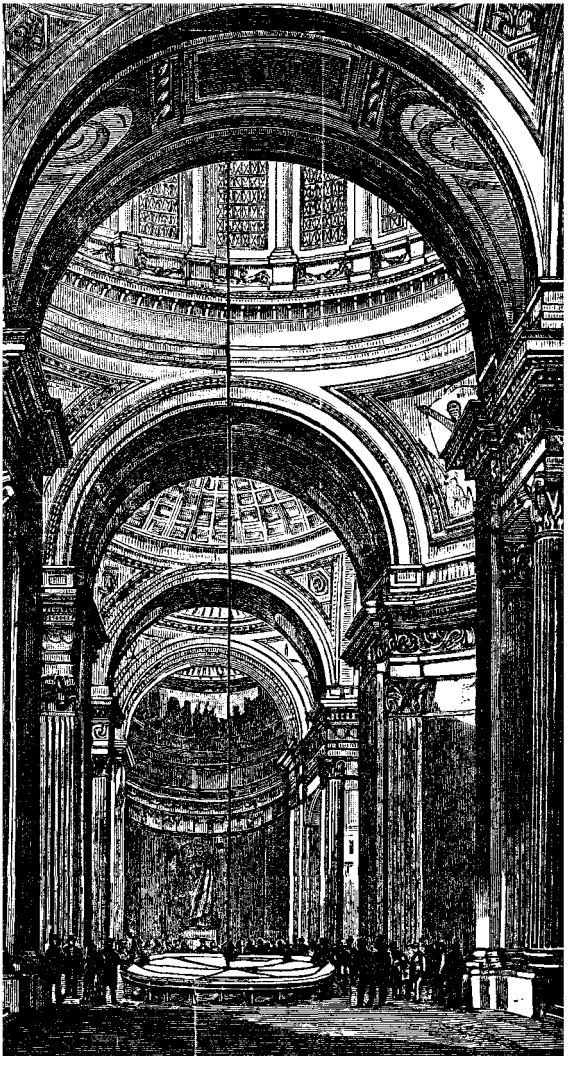


Рис. 78. Опытъ Фуко въ Пантеонѣ въ 1851 г.

Впервые такой опытъ съ маятникомъ сдѣланъ былъ въ 1851 году французскимъ ученымъ Фуко предъ многочисленной публикой въ Парижѣ, въ Пантеонѣ. Географическая широта Парижа $48^0 50'$. Поэтому кажущееся отклоненіе плоскости качанія маятника должно быть $11^0,3$

въ часъ. Такъ и показалъ опытъ Фуко, произведенный съ большой тщательностью (рис. 78).

Послѣ опытъ былъ повторенъ во многихъ другихъ пунктахъ земной поверхности, и всегда результаты оказывались въ полномъ согласіи съ теоріей, какъ видимъ изъ слѣдующей таблички:

Мѣсто набл	широта	Отступл. плоск. качан. маятн. вычисл.	наблюдаемое
Дублинъ	53°,4	12°.04	11°,90
Кельнъ	50°,9	11°,65	11°,64
Женева	46°,2	10°,83	10°,18
Римъ.	41°,9	10°,02	9°,90
Нью-Іоркъ	40°,7	9°,78	9°,73
Цейлонъ.	6°,9	1°,81	1°,87
Ріо де-Жанейро.	—22°,9	5°,84	5°,17

Въ 1633 г. священная римская инквизиція судила знаменитаго астронома, престарѣлаго Галилея, и требовала, чтобы онъ съ покаяніемъ отрекся отъ еретическаго ученія Коперника, утверждавшаго, что земля вращается *около нѣкоторой оси*. А двѣсти съ небольшимъ лѣтъ спустя въ томъ же Римѣ вѣрный слуга папы, монахъ-іезуитъ Секки, публично производитъ въ церкви св Игнатія опытъ Фуко, наглядно показывающій, что земля вращается

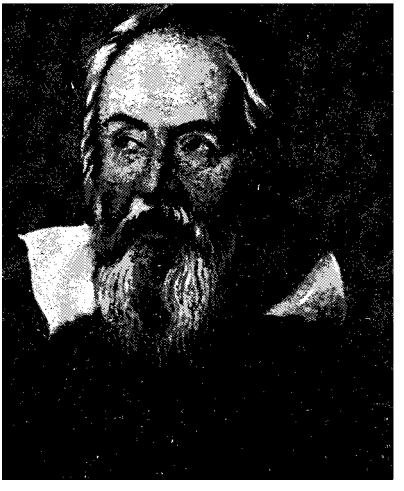


Рис. 79 —Галилей

Галилей (рис. 79) родился спустя 21 годъ послѣ смерти Коперника т е въ 1564 г. Онъ открыто проповѣдывалъ новое ученіе и прославился своими изслѣдованіями надъ паденіемъ тѣлъ изобрѣтеніемъ зрительной трубы, которую онъ догадался направить на небо, и цѣлымъ рядомъ интересныхъ открытій въ области наблюдательной астрономіи. Послѣдніе годы своей жизни, послѣ тюрьмы и ссылки, онъ прожилъ въ домашнемъ заключеніи на своей виллѣ Арчетри во Флоренціи. Скончался въ 1642 г

Отклоненіе падающихъ тѣлъ къ востоку. Чѣмъ больше радіусъ круга, тѣмъ длиннѣе дуга при томъ же числѣ градусовъ. Поэтому при вращеніи земли вершина башни A (рис. 80) опишетъ дугу большую, чѣмъ ея основаніе a.

Бросимъ шаръ изъ A осторожно, безъ толчка. Онъ будетъ падать внизъ подъ дѣйствіемъ тяжести, но въ то же время сохранитъ относительное движеніе, которое имѣетъ точка A во вращательномъ движеніи земли

Пусть башня въ тотъ моментъ, когда шаръ долетитъ до земли займетъ положеніе bB. Основаніе ея a перемѣстится въ точку b. Но шаръ въ своемъ относительномъ движеніи пройдетъ AB и долженъ,

слѣдовательно, упасть въ точку *c*, находящуюся къ востоку отъ основанія башни *b*. Такъ дѣйствительно и наблюдалось при тѣхъ опытахъ, которые были сдѣланы спеціально.

Пассаты.—Воздушныя массы, нагрѣваясь подъ экваторомъ, поднимаются кверху и растекаются къ сѣверу и югу. На ихъ мѣсто съ сѣвера и юга устремляются къ экватору болѣе холодныя массы. Но онѣ пойдутъ не по меридіанамъ, а по направленіямъ, нѣсколько наклоннымъ къ меридіанамъ.

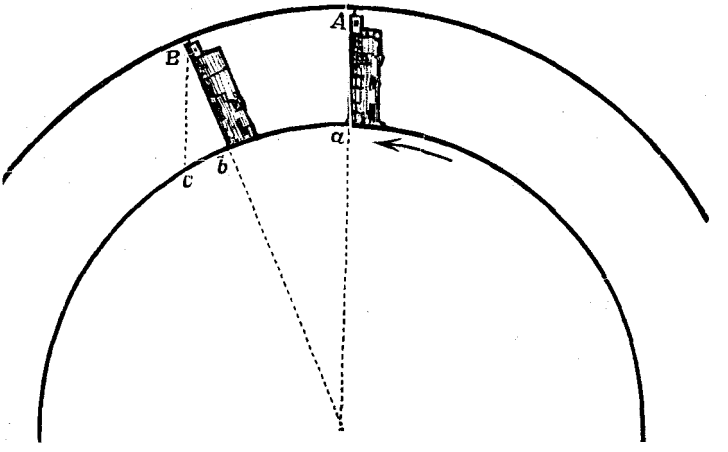


Рис. 80.

Въ самомъ дѣлѣ, частица *a* какой-либо сѣверной параллели (рис. 81), спускаясь къ экватору, уносится вращеніемъ земли съ той скоростью, которую она имѣла на этой параллели, а эта скорость меньше, чѣмъ на экваторѣ, потому что радіусъ параллели меньше радіуса экватора.

Пусть въ то время, когда частица *a* дойдетъ до экватора, точка *A* перемѣстится въ *B*.

Въ относительномъ движеніи вращенія земли частица *a* пройдетъ за это время путь *AC=ab*. Наблюдателю въ точкѣ *A* будетъ казаться, что воздушныя массы направляются на него съ сѣверо-востока. Это будетъ довольно постоянный вѣтеръ, такъ называемый сѣверо-восточный пассатъ, направленіе котораго ясно указываетъ на вращеніе земли съ запада на востокъ.

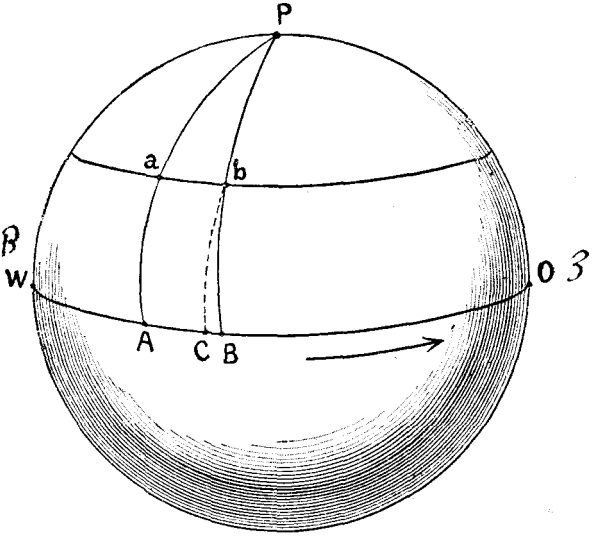


Рис. 81.

Подобнымъ образомъ, къ югу отъ экватора образуется теченіе воздуха съ юго-востока –такъ называемый юго-восточный пассатъ.

Пассаты дуютъ близъ экватора. На самомъ экваторѣ тянется узкая полоса затишья—полоса штилей

Глава XIII **Разстояніе свѣтилъ отъ земли Параллаксъ Угловой радіусъ свѣтила**

Параллаксъ —Представимъ себѣ какой-нибудь предметъ, хотя бы напримѣръ палку передъ стѣной (рис. 82), и будемъ смотрѣть на нее

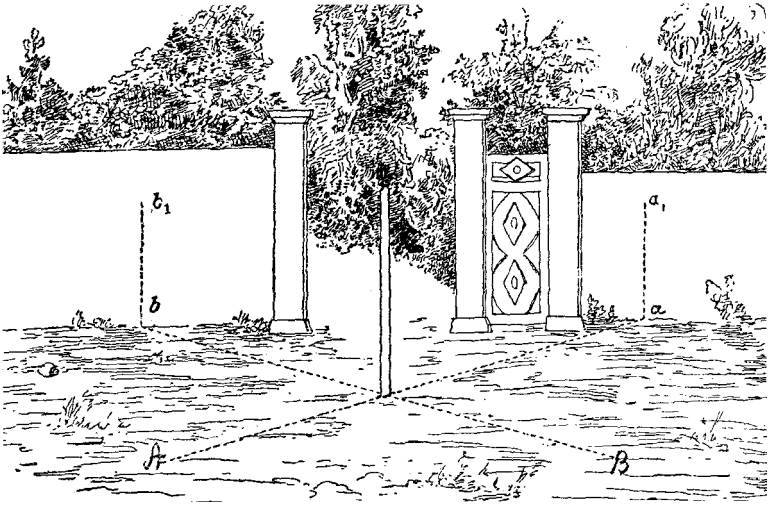


Рис. 82.

сначала остановившись въ A, потомъ въ B. Въ первомъ случаѣ намъ будетъ казаться палка далеко справа отъ воротъ (aa_1), во второмъ слѣва (bb_1). Уголъ видимаго смѣщенія близкаго предмета, когда измѣняется мѣсто наблюденія, называется параллаксомъ. Чѣмъ ближе предметъ, тѣмъ параллактическое смѣщеніе будетъ больше. Такимъ образомъ, параллаксъ предмета характеризуетъ его разстояніе Измѣряя параллаксъ, мы можем узнать разстояніе предмета, когда онъ даже недоступенъ намъ Пусть для простоты направленіе MB перпендикулярно AB (рис. 83)

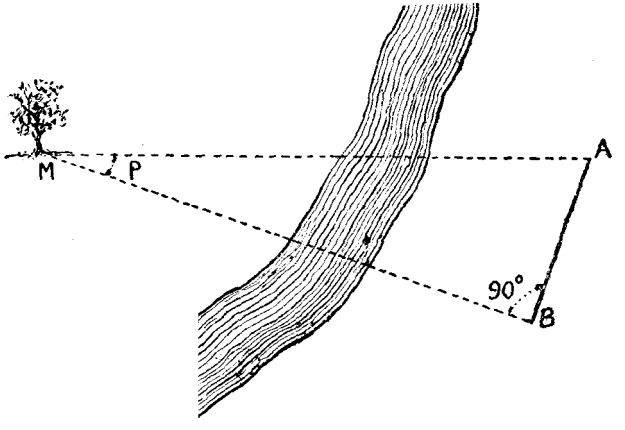


Рис. 83

Тогда измѣряя непосредственно AB и уголъ A, мы найдем уголъ $M = P$ и разстояніе $MB = AB \operatorname{ctg} P$, или разстояніе $AM = AB \operatorname{cosec} P$ Точно такъ же и для свѣтила небеснаго. Его разстояніе отъ насъ можно вычислить, если опредѣлить, насколько оно видимо смѣщается, когда измѣняется мѣсто наблюденія на землѣ, или лучше—если опредѣлить, насколько различны положенія свѣтила въ одинъ и тотъ же моментъ для двухъ наблюдателей, находящихся въ различныхъ пунктахъ земной поверхности.

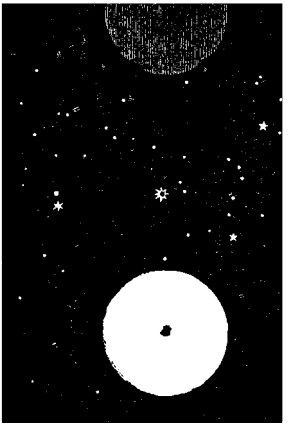


Рис. 84.

На рис. 84-мъ мы имѣемъ луну среди окружающихъ звѣздъ въ одинъ и тотъ же моментъ для Берлина (нижній дискъ) и для Капштадта (верхній дискъ). Смѣщеніе большое,—около трехъ діаметровъ луны

Обыкновенно подъ словомъ параллаксъ подразумѣваютъ уголъ между направленіемъ отъ наблюдателя къ свѣтилу и направленіемъ отъ центра земли къ свѣтилу. Изъ рис. 85 видно, что этотъ уголъ зависитъ отъ высоты свѣтила надъ горизонтомъ наблюдателя. Когда свѣтило въ зенитѣ (M''), никакого параллакса нѣтъ. Чѣмъ больше зенитное разстояніе, тѣмъ больше параллаксъ (M'), и когда свѣтило въ горизонтѣ (M), параллаксъ оказывается наибольшій. Это такъ называемый горизонтальный параллаксъ свѣтила. Можно сказать, что горизонтальный параллаксъ свѣтила—это наибольшій уголъ, подъ которымъ былъ бы виденъ радіусъ земли со свѣтила.

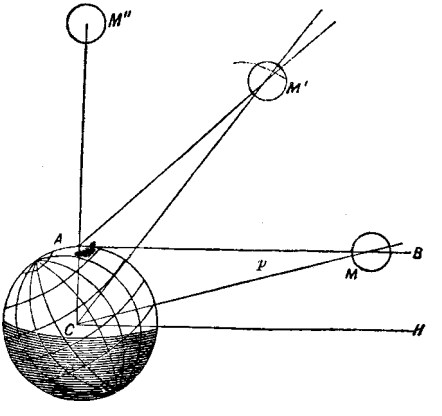


Рис. 85

Разстояніе луны и солнца.—Нашли, что для луны горизонтальный параллаксъ равняется **57′**, для солнца онъ гораздо меньше, всего **8″,8**.

Изъ треугольника AMC имѣемъ (рис. 85):

$$CM = \frac{AC}{\operatorname{Sin} p}$$

AC—радіусъ земли $= 6000$ верстъ.

Для луны	Для солнца
$\lg AC = 3{,}77815$	$\lg AC = 3{,}77815$
$\lg \operatorname{Sin} 57' = 8{,}21958\,(-10)$	$\lg \operatorname{Sin} 8'',8 = 5{,}63005\,(-10)$*)

*) Синусъ малаго угла=числу секундъ, помноженному на sinl″, или числу минутъ, помноженному на sinl′, т. е.

$$\sin\alpha = \alpha''.\ \sin 1'' \text{ и } \sin\beta = \beta'\ \sin 1'$$

$\lg \sin 1'' = 4{,}68557\ (-10)$ $\lg \sin 1' = 6{,}46373\ (-10)$.

Для луны		Для солнца	
$\lg CM$	= 5,55857	$\lg CM$	= 8,14810
CM	= 361900 верстъ	CM	= 140640000

или, просто,

60 земн. радіусовъ (рис. 86). **Прибл 140 милл. верстъ**

Угловой радіусъ свѣтила Съ горизонтальнымъ параллаксомъ свѣтила не надо смѣшивать углового радіуса свѣтила.

Горизонтальный параллаксъ—это уголъ, подъ которымъ виденъ радіусъ земли со свѣтила, т. е. $\angle AaC = p$ (рис. 87)

Угловой радіусъ свѣтила это уголъ, подъ которымъ виденъ радіусъ свѣтила съ земли, т. е. $\angle aAc = \rho$

Если извѣстно разстояніе свѣтила, то, измѣряя его угловой радіусъ, вычисляемъ линейный радіусъ свѣтила, т. е. опредѣляемъ дѣйствительные размѣры его

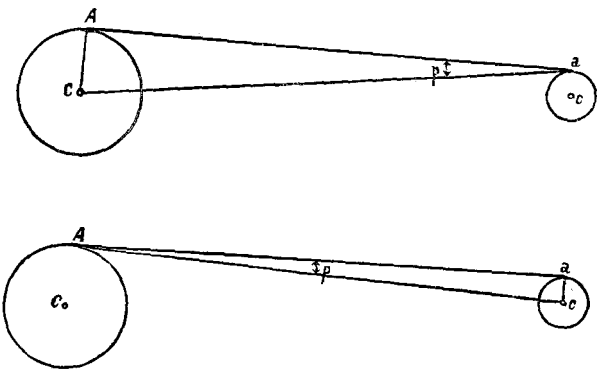


Рис. 87

Изъ △-ка Aac имѣемъ

$$ac = Ac \sin \rho$$

Размѣры луны и солнца. Луна и солнце видны приблизительно подъ однимъ и тѣмъ же угломъ. Средній угловой радіусъ луны можно принять равнымъ 15′,5 и солнца 16′ Но луна находится, какъ мы только что разсчитали, на разстояніи 361900 верстъ отъ земли, а солнце на разстояніи 140640000 верстъ. Поэтому будемъ имѣть:

Рис. 86. Разстояніе луны отъ земли=60 земн. рад.

Для луны		Для солнца	
$\lg Ac$	=5,55857	$\lg Ac$	=8,14810
$\lg \sin 15',5$	=7,65383 (− 10)	$\lg \sin 16'$	=7,66784 (−10)
$\lg ac$	=3,21240	$\lg ac$	=5,81594
ac	= 1631 вер. или прибл $= \frac{3}{11}$ земн радіуса,	ac	=654540 верстъ, прибл. 109 земныхъ радіусовъ

слѣдов., объемъ луны приблизит = $\frac{1}{50}$ объема земли

Объемъ солнца приблизит = 1300000 объемовъ земли

Такимъ образомъ, луна по сравненію съ землей- тѣло малое, а солнце —громадное

Глава XIV. **Движеніе земли около солнца**

Видимое движеніе солнца по эклиптикѣ такъ же, какъ и видимое суточное вращеніе небеснаго свода, есть явленіе кажущееся.

Коперникъ имѣлъ смѣлость отказаться отъ вѣкового предразсудка; онъ понялъ, что земля не представляетъ собой центра, около котораго движутся всѣ небесныя тѣла, а наоборотъ, она вмѣстѣ съ другими планетами движется около солнца, вращаясь въ то же время около своей оси.

Видимое смѣщеніе солнца есть отраженіе движенія земли. Мы видимъ солнце по другому направленію потому, что сама земля перемѣстилась.

Плоскость, въ которой находится центръ земли при движеніи ея около солнца, есть плоскость эклиптики. Ось вращенія земли всегда остается наклонной къ эклиптикѣ подъ о д н и м ъ и т ѣ м ъ ж е угломъ $66^1/_2{}^0$.

Времена года.—Когда земля находится въ положеніи I-мъ, солнечные лучи падаютъ равномѣрно на оба полушарія. Солнце кажется на экваторѣ, день во всѣхъ точкахъ земной поверхности равенъ ночи Это начало нашей весны—8-го марта ст. ст. (рис. 88)

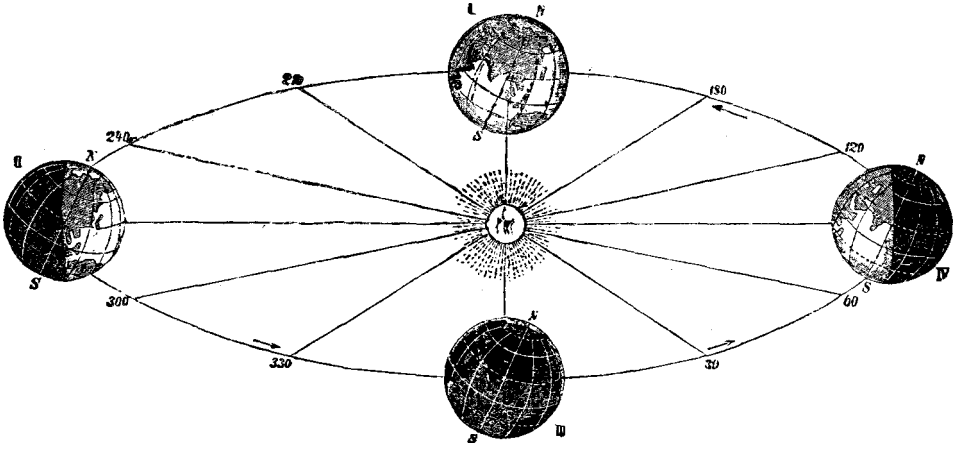


Рис 88

При положеніи II-мъ (9 іюня ст. ст.) лучи солнца больше падаютъ на сѣверное полушаріе, солнце высоко надъ экваторомъ, въ сѣверномъ полушаріи длинные дни, короткія ночи, въ южномъ полуша-

ріи наоборотъ. У сѣвернаго полюса сплошной день, у южнаго - сплошная ночь. Въ сѣверномъ полушаріи лѣто, въ южномъ –зима

Положеніе Ш-ье соотвѣтствуетъ 11-му сентября. Солнце опять на экваторѣ, день опять равенъ ночи, но солнце переходитъ изъ сѣвернаго полушарія въ южное—наша осень.

Положеніе IV (10 декабря)—зима въ сѣверномъ полушаріи Солнечные лучи падаютъ большею частью на южное полушаріе. Солнце низко подъ экваторомъ. Въ сѣверномъ полушаріи короткіе дни, длины ночи. У самаго полюса—сплошная ночь безъ разсвѣта.

Земные пояса.—Такъ просто и наглядно объясняетъ чертежъ Коперника видимое движеніе солнца и наши времена года. Нетрудно по нему уяснить и дѣленіе земной поверхности на пять поясовъ.

Полярные круги, т. е. круги, отстоящіе на $23^1/_2{}^0$ отъ сѣвернаго и южнаго полюса, или на $66^1/_2{}^0$ отъ экватора, выдѣляютъ области, гдѣ ночь можетъ продолжаться больше сутокъ. На самыхъ полюсахъ ночь и день по полугоду*). Подъ широтой 70^0 сплошная ночь 48 дней подъ 80^0 118 дней.

Внутрь полярныхъ круговъ даже лѣтомъ солнечные лучи идутъ очень косо. Они слабо нагрѣваютъ поверхность, снѣжный покровъ сходитъ только отчасти, вокругъ полюсовъ на широкое пространство лежитъ вѣчный снѣгъ. Это такъ называемые холодные пояса.

Полоса на $23^1/_2{}^0$ по ту и другую сторону отъ экватора называется жаркимъ поясомъ. Здѣсь солнце всегда высоко и для каждаго пункта дважды въ году бываетъ въ зенитѣ. Параллельные круги, ограничивающіе жаркій поясъ, называются тропиками: сѣверный– тропикомъ Рака, южный тропикомъ Козерога. Названія, конечно, заимствованы отъ тѣхъ созвѣздій, въ которыхъ раньше находилось солнце въ тѣ дни, когда для мѣстностей, лежащихъ на этихъ кругахъ, оно стоитъ въ зенитѣ

Части земной поверхности между жаркимъ и каждымъ холоднымъ поясами носятъ названіе умѣренныхъ поясовъ. Въ нихъ солнце никогда не бываетъ въ зенитѣ и зимой спускается довольно низко, зима такъ холодна, что почти вездѣ земля покрывается снѣгомъ.

Орбита земли.—Движеніе земли около солнца неравномѣрно. Зимой солнце видимо перемѣщается за сутки на большую дугу, чѣмъ лѣтомъ. Въ то же время и его угловой діаметръ измѣняется. Въ концѣ декабря солнце кажется намъ дискомъ діаметра $32'32''$, а въ концѣ іюня его видимый діаметръ $31'26''$

Эти явленія объясняются тѣмъ, что орбита земли, т. е. путь ея въ пространствѣ, не окружность, а эллипсъ, въ одномъ изъ фокусовъ котораго находится солнце. Этотъ эллипсъ очень мало сжатъ, мало отли-

чается отъ окружности*), тѣмъ не менѣе разность разстояній земли от солнца чувствуется. 20-го декабря земля проходитъ черезъ точку, наиболѣе близкую къ солнцу, такъ называемый перигелій**), видимыя угловыя перемѣщенія солнца въ это время будутъ больше, и діаметръ солнца будетъ казаться намъ подъ большимъ угломъ. 20-го іюня земля въ наибольшемъ удаленіи отъ солнца въ афеліи***, видимыя перемѣщенія солнца меньше, и угловой діаметръ его тоже меньше, такъ какъ, чѣмъ дальше предметъ, тѣмъ меньше кажутся его размѣры

Въ декабрѣ земля ближе къ солнцу, но у насъ въ сѣверномъ полушаріи зима. Какъ видѣли, это обусловливается тѣмъ, что лучи солнца въ это время идутъ къ намъ косо.

Задача Выяснить на чертежѣ (подобномъ рис. 48) отношеніе поворотныхъ круговъ на небѣ къ поворотнымъ кругамъ на землѣ

Глава XV **Доказательства движенія земли около солнца годичный параллаксъ звѣздъ, аберрація свѣта**

Годичный параллаксъ звѣздъ.—Если земля не стоитъ неподвижно въ пространствѣ, а описываетъ около солнца за годъ кругъ радіуса въ 140 милл. верстъ, то естественно ждать, что каждая звѣзда въ теченіе года будетъ параллактически смѣщаться, описывая на небѣ тоже кругъ около своего средняго положенія, какъ разъясняетъ рис. 89. При этомъ смѣщеніе звѣзды должно быть тѣмъ больше, чѣмъ ближе звѣзда.

Но астрономы долго не могли обнаружить такого смѣщенія звѣздъ, и это обстоятельство служило главнымъ возраженіемъ противъ теоріи Коперника. Если земля движется около солнца, а звѣзды **не** обнаруживаютъ параллактическаго смѣщенія, то приходится допустить, что онѣ находятся на чрезвычайно большомъ отъ насъ разстояніи, въ сравненіи съ которымъ поперечникъ земного пути, имѣющій 280 милліоновъ верстъ, оказывается исчезающе малъ. Такого предположенія относительно разстоянія звѣздъ не рѣшались сдѣлать. Теорія Коперника, давая новую идею строенія вселенной, въ то же время раздвигала предѣлы ея до безконечности.

Только во второй четверти XIX ст. астрономамъ Струве въ Дерптѣ и Бесселю въ Кенигсбергѣ удалось выяснить несомнѣнно параллактическое смѣщеніе отдѣльныхъ звѣздъ, первому для альфы Лиры, второму для звѣзды 61-ой Лебедя.

*) Если начертить орбиту земли даже въ масштабѣ большого чертежа, то глазъ нашъ все-таки не замѣтитъ уклоненія ея отъ окружности.

**) περί—около, близъ; ἥλιος солнце

***) ἀπό—далеко отъ;

Ф В Бессель славный современникъ В. Струве (рис. 90) Онъ обладалъ необычайнымъ талантомъ выдающагося теоретика и искуснаго вдумчиваго практика, давшаго новые строгіе методы точныхъ наблюденій. Замѣчательно что Бессель не получилъ спеціальнаго образованія въ школѣ, но все, что было ему нужно онъ выучилъ самъ. Поступивши мальчикомъ въ торговый домъ въ Бременѣ, онъ, въ виду обширныхъ морскихъ сношеній фирмы, рѣшился познакомиться съ искусствомъ кораблевожденія, увлекся астрономіей и сталъ заниматься ею спеціально Родился Бессель въ 1784 г скончался въ 1846 г

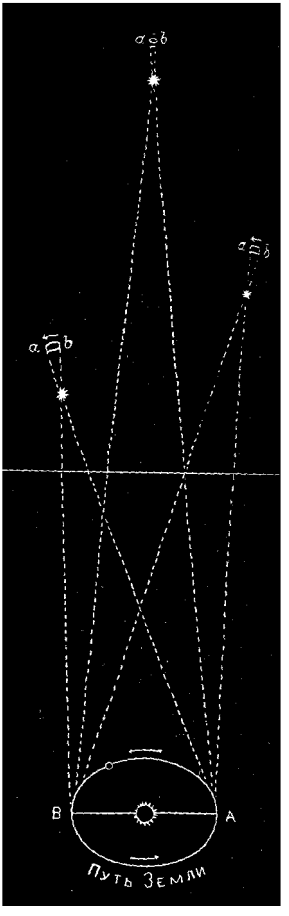


Рис. 89 Видимыя смѣщенія звѣздъ вслѣдствіе движенія земли

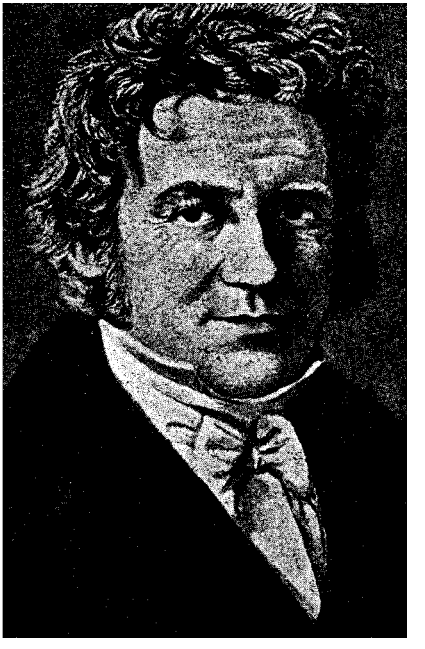


Рис. 90. Ф В Бессель

Послѣ найдены параллактическія смѣщенія и для нѣсколькихъ другихъ звѣздъ.

Такъ называемый годичный параллаксъ, т. е. уголъ, подъ которымъ виденъ съ звѣзды радіусъ земной орбиты (рис. 91), оказывается всегда меньше одной секунды дуги Наибольшій параллаксъ имѣетъ звѣзда альфа Центавра 0″,75

Зная годичный параллаксъ звѣзды, мы можемъ опредѣлить ея разстояніе $SA = \frac{AC}{\sin p}$

Для альфы Центавра:

$$\lg AC = \lg\ 140.000.000 = 8{,}14613$$
$$\lg \mathrm{Sin} p = \lg \mathrm{Sin}\ 0'' 75 = 4{,}56063\ (-10)$$
$$\lg SA = = 13{,}58550$$

т. е. $SA = 38500000000000$ верстъ

Это число такъ громадно, что его даже представить себѣ трудно Вспомнимъ, что свѣтъ въ каждую секунду проходитъ 280000 верстъ Разсчитаемъ сколько времени онъ долженъ итти отъ звѣзды альфы Центавра. Окажется больше 4 лѣтъ. Такъ далека ближайшая къ намъ звѣзда. Другія звѣзды еще дальше. Свѣтъ отъ нихъ идетъ къ намъ въ теченіе 10, 50, 100, 150 и больше лѣтъ.

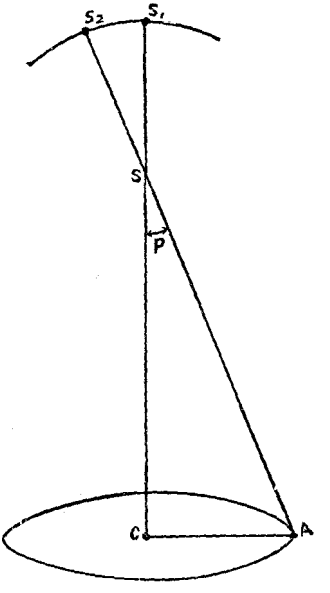


Рис 91

Годичный параллаксъ звѣздъ надо отличать отъ горизонтальнаго параллакса солнца, луны, планетъ (стр. 63) Въ послѣднемъ мы имѣемъ угловое смѣщеніе свѣтила, если наблюдатель перемѣщается на разстояніе радіуса земного **шара**, т. е. 6000 верстъ. Годичный параллаксъ звѣзды есть угловое смѣщеніе звѣзды, когда наблюдатель перемѣщается на радіусъ земной **орбиты**, т. е. на 140.000.000 верстъ. И въ то время, какъ горизонтальный параллаксъ

$$\text{луны} = 57' \quad \left(\begin{matrix}\text{смѣщеніе} \\ \text{6000 верстъ}\end{matrix}\right)$$
$$\text{солнца} = 8'',8$$

годичн. паралл. ближайшей звѣзды

$$0'',75 \quad \left(\begin{matrix}\text{смѣщеніе} \\ \text{140.000.000 верстъ}\end{matrix}\right)$$

Изъ этого сопоставленія ясно, на сколько звѣзды дальше луны и дальше солнца.

Существованіе годичнаго параллакса звѣздъ является наглядным и неоспоримымъ доказательствомъ справедливости теоріи Коперника.

Аберрація свѣта Измѣряя въ 1726 г. положеніе звѣзды гаммы Дракона съ цѣлью обнаружить ея годичный параллаксъ, астрономъ Брадлей замѣтилъ, что звѣзда дѣйствительно смѣщается, описывая за годъ на небѣ небольшой эллипсъ, но смѣщенія по этому эллипсу происходятъ не такъ, какъ въ томъ случаѣ, если бы они были параллактическія.

Стараясь найти объясненіе наблюдаемому явленію, Брадлей понялъ, что оно кажущееся, что оно также обусловливается движеніемъ земли около солнца и возможно только потому, что

скорость свѣта не безконечно велика въ сравненіи со скоростью земли въ ея движеніи около солнца. Онъ назвалъ это явленіе аберраціей свѣта. Аберрація свѣта является такъ же, какъ и годичный параллаксъ, неоспоримымъ доказательствомъ движенія земли около солнца (слѣдовательно, справедливости теоріи Коперника)

Нѣчто подобное мы можемъ наблюдать въ нашей повседневной жизни. Положимъ, мы находимся подъ дождемъ, капли котораго падаютъ вертикально; тѣмъ не менѣе, если мы идемъ, то намъ приходится держать зонтъ больше передъ собой и тѣмъ болѣе наклонно, чѣмъ скорѣе мы идемъ. Чѣмъ быстрѣе человѣкъ перемѣщается тѣмъ болѣе наклонными ему кажутся струи дождя, какъ наглядно иллюстрируетъ рис. 92 Кажущееся отклоненіе струй дождя можно

Рис. 92.

хорошо наблюдать изъ поѣзда желѣзной дороги. Когда поѣздъ стоитъ на станціи, струи теплаго лѣтняго дождя безъ вѣтра льютъ вертикально. Но какъ только поѣздъ тронулся, вы видите, что струи явно наклонились и непремѣнно навстрѣчу движенію поѣзда.

Представимъ себѣ вертикальную трубу (рис. 93) и бросимъ внутрь ея мячикъ какъ разъ по серединѣ. Если труба стоитъ неподвижно, то мячикъ упадетъ въ середину основанія трубы b. Но пусть труба перемѣщается, оставаясь вертикальной. Мячикъ, конечно, скоро окажется у боковой стѣнки трубы и скатится по ней уже къ краю основанія. Чтобы мячикъ всегда оставался на оси трубы и попалъ при паденіи какъ разъ въ середину основанія, надо трубу нагнуть больше или меньше, чтобы точка b перемѣстилась въ b_1, въ такое же время, въ какое мячикъ падаетъ отъ a до b_1.

Точно такъ же и для луча свѣта, который идетъ отъ звѣзды S Такъ какъ земля движется, то трубу надо нѣсколько нагнуть въ сторону движенія земли, и звѣзду мы будемъ видѣть не по направленію AS или, что все равно, не по направленію A_1S, а по направленію A_1S_1, при чемъ уголъ наклона $SA_1S_1=\alpha$ обусловливается отношеніемъ скорости свѣта къ скорости земли, потому что въ то время какъ свѣтъ пробѣгаетъ путь AB_1, земля перемѣщается на $BB_1=AA_1$.

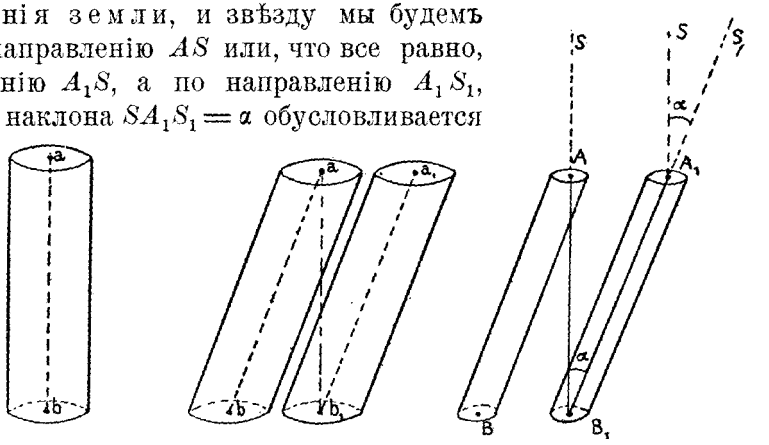


Рис. 93.

Изъ $\triangle$-ка AB_1A_1 имѣемъ

$$AA_1=AB_1\ \mathrm{tg}\alpha,$$

такъ что

$$\mathrm{tg}\alpha=\frac{AA_1}{AB_1}=\frac{\text{скорость земли}}{\text{скорость свѣта}}$$

Радіусъ земной орбиты 140.000.000 верстъ, окружность $=2\pi 140.000.000$

Годъ $365^1/_4$ дней $=365{,}25\times24\times60\times60$ секундъ.

$$\text{Слѣдовательно, скорость земли}=\frac{2\pi 140.000.000}{24.60.60.365{,}25}=27{,}8 \text{ верстъ}$$

Скорость свѣта $=280000$ верстъ.

Слѣдовательно,

$$\mathrm{tg}\alpha=\frac{27{,}8}{280000}$$

$$\lg\mathrm{tg}\alpha=5{,}99688\ (-10)$$

$$\alpha=20'',48$$

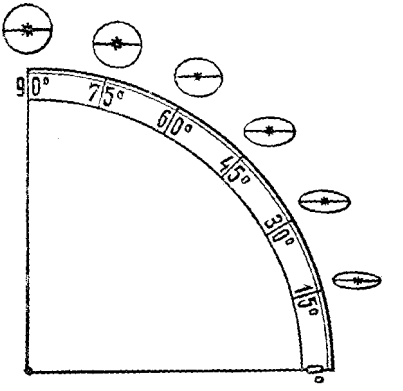


Рис. 94.

Такого радіуса кругъ будетъ описывать за годъ звѣзда, находящаяся въ полюсѣ эклиптики. Въ общемъ случаѣ вслѣдствіе аберраціи свѣта звѣзда опишетъ за годъ на небѣ не кругъ, а эллипсъ, при чемъ этотъ эллипсъ будетъ тѣмъ болѣе сжатъ, чѣмъ ближе звѣзда къ эклиптикѣ, и для звѣзды, находящейся въ плоскости эліптики, эллипсъ обращается въ прямую, какъ показано на рис. 94.

Такіе эллипсы описываютъ звѣзды и вслѣдствіе параллакса. Только эллипсы отъ параллакса гораздо меньше, и вліяніе параллакса достигаетъ своего максимума и минимума не въ тѣ моменты, какъ для аберраціи.

Различіе вліянія аберраціи свѣта и годичнаго параллакса иллюстрируетъ рисунокъ 95-ый. Вслѣдствіе аберраціи звѣзда будетъ смѣщена въ точку d тогда, когда земля въ точкѣ D (смѣщеніе звѣзды по направленію движенія земли), и въ точку b, когда звѣзда въ B. Но вслѣдствіе параллакса смѣщенія звѣзды должны происходить въ этихъ случаяхъ въ сторону a (изъ точки D) и въ сторону c (изъ точки B).

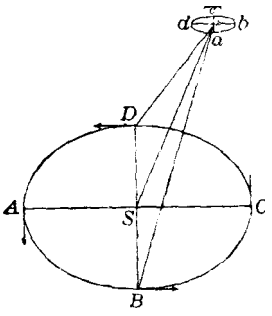


Рис. 95

Наоборотъ, когда земля въ A и C, звѣзда окажется смѣщенной вслѣдствіе аберраціи въ a и въ c, но вліяніе параллакса будетъ перемѣщать ее въ направленіи къ b (изъ точки A) и къ d (изъ точки C).

Задача Опредѣлить, сколько времени идетъ до насъ свѣтъ отъ звѣзды 61-ой Лебедя, параллаксъ которой $= 0''{,}4$, и отъ Капеллы (альфа Возничаго), имѣющей параллаксъ $= 0''{,}11$.

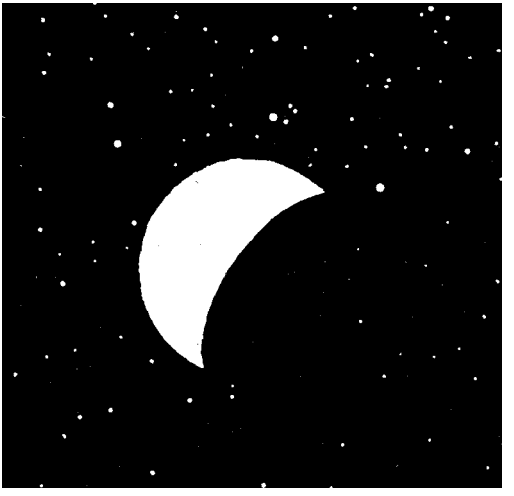
Глава XVI **Движеніе луны около земли Покрытіе звѣздъ Фазы. Сидерическій и синодическій мѣсяцы Орбита луны Вращеніе и либрація луны**

Собственное движеніе луны Положимъ, мы замѣтили сегодня луну въ созвѣздіи Близнецовъ нѣсколько направо отъ звѣздъ Кастора и Поллукса. Завтра она окажется уже налѣво отъ этихъ звѣздъ, она замѣтно перемѣстится и будетъ находиться въ созвѣздіи Рака.

Перемѣщеніе луны между звѣздами настолько значительно, что оно можетъ быть легко замѣчено въ одинъ вечеръ. Повинуясь суточному вращенію небеснаго свода, луна, какъ и каждая звѣзда, восходитъ въ восточной части небосклона, поднимается на наибольшую высоту надъ горизонтомъ въ меридіанѣ, потомъ склоняется къ западу Но въ этомъ суточномъ движеніи луна *отстаетъ* отъ звѣзды потому, что кромѣ суточнаго видимаго движенія она имѣетъ еще собственное движеніе между звѣздами въ направленіи съ запада на востокъ. Вокругъ земли по всему небу луна обходитъ въ мѣсяцъ, точнѣе въ $27^1/_3$ дней, такимъ образомъ, въ сутки она перемѣщается на 13^0, въ теченіе вечера, за 5 6 часовъ, она перемѣстится приблизительно на 3^0, т е на 6 діаметровъ своего диска. Это перемѣщеніе можетъ замѣтить всякій

Покрытіе звѣздъ Подвигаясь между звѣздами съ запада на востокъ, луна подходитъ то къ одной звѣздѣ, то къ другой. Иногда можно даже подкараулить, какъ въ этомъ движеніи луна закрываетъ своимъ корпусомъ звѣзды (рис. 96) Звѣзда скрывается на восточномъ краѣ диска и выходитъ на западномъ. Ясно, что луна *движется* и что она *ближе* къ намъ, чѣмъ звѣзды

Вслѣдствіе параллакса луна для различных мѣстъ на земной поверхности будетъ казаться въ одинъ и тотъ же моментъ въ различных положеніяхъ относительно звѣзды. Для одного наблюдателя луна въ своемъ движеніи едва коснется звѣзды нижним краемъ диска, для другого звѣзда скроется за дискомъ луны часа на $1^1/_2$, какъ бы пройдя за луной по длинной хордѣ или діаметру, для третьяго наблюдателя звѣзда окажется много выше луннаго диска (рис. 97 a и b).



Луна въ богатой звѣздами области неба. Слѣва видны звѣзды у самаго края луннаго диска, но справа пустота. Здѣсь темная неосвѣщенная часть луннаго диска, покрывающая звѣзды.

Покрытія звѣздъ луной, такимъ образомъ, явленія параллактическія т. е. происходящія для различныхъ мѣстъ земной поверхности различно въ зависимости отъ вліянія параллакса. Они очень интересны для наблюденія и имѣютъ большое значеніе какъ для теоріи движенія луны, такъ и для уясненія физическаго строенія ея.

Фазы луны Всякому бросается въ глаза, что луна является въ различное время въ различныхъ видахъ: то въ видѣ серпа, то въ видѣ диска, освѣщеннаго наполовину, на три четверти и т. д. Это такъ называемыя фазы луны. Онѣ легко объясняются тѣмъ обстоятельствомъ, что луна спутникъ земли, что она, перемѣщаясь вмѣстѣ съ землей около солнца, обходитъ также вокругъ самой земли, при этомъ луна какъ темное тѣло, видна намъ постольку, поскольку обращена къ землѣ освѣщенная солнцемъ поверхность луны.

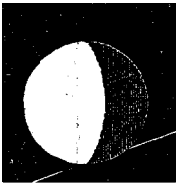


Рис. 97a.

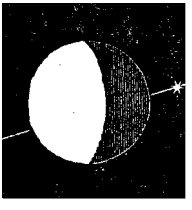


Рис. 97b.

Когда луна находится между землей и солнцемъ, то къ землѣ обращена ея темная половина мы не видимъ луны (рис. 98 полож. 1) Это такъ называемое новолуніе. На слѣдующій день появляется уже узкій серпикъ луны; пол. 2. Замѣтьте, что новая луна всегда по-

казывается на западѣ вскорѣ послѣ заката солнца.

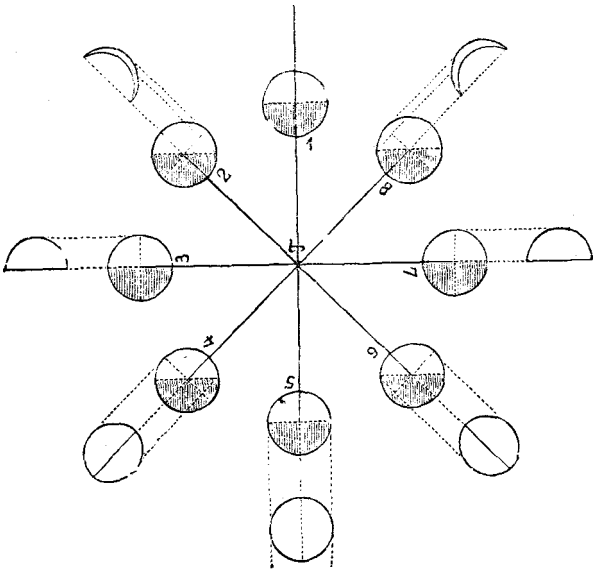


Рис. 98.

Луна являет видѣ узкаго серпа.

Когда луна сдѣлаетъ одну четверть своего оборота земли, мы видимъ освѣщенной правую половину диска. Эта фаза называется первой четвертью (точнѣе это конецъ первой четверти);—пол. 3.

По мѣрѣ движенія луны, освѣщеніе ея диска постепенно все увеличивается; пол. 4. Когда луна находится отъ земли по другую сторону, чѣмъ солнце, она является для насъ полнымъ дискомъ. Это такъ называемое полнолуніе;—пол. 5.

Рис. 99. Опытъ, объясняющій фазы луны.

Дальше часть диска опять является въ тѣни. Ущербъ растетъ справа, освѣщенной остается лѣвая сторона диска, т. е. та, которая теперь обращена къ солнцу; пол. 6 Когда луна сдѣлаетъ $^3/_4$ своего оборота около земли, она опять является въ видѣ диска, освѣщеннаго наполовину, только теперь свѣтлой является лѣвая половина; пол. 7 Это третья четверть, или начало послѣдней четверти. Приближаясь къ солнцу, луна все болѣе и болѣе, какъ говорятъ, убываетъ, является въ видѣ серпа болѣе и болѣе узкаго, который бываетъ виденъ поздно ночью или даже рано утромъ, передъ самымъ восходомъ солнца.

Когда закончится оборотъ луны около земли, начинается новый циклъ фазъ.

Явленіе фазъ легко можно уяснить съ помощью простого опыта, какъ показываетъ рис. 99 Возьмемъ мячикъ или глобусъ, оклеимъ его бѣлой бумагой и посмотримъ, какъ располагается тѣнь, если ставить шаръ въ различныя положенія по отношенію къ намъ и къ горящей лампѣ безъ абажура

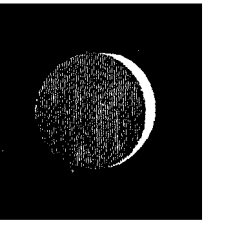


Рис. 100. Пепельный свѣтъ

Пепельный свѣтъ Дня 2 4 до и послѣ новолунія, когда лунный серпъ довольно узокъ можно видѣть и остальную часть луннаго диска, но освѣщенную значительно слабѣе сравнительно съ яркимъ блескомъ серпа—она нѣжносѣраго оттѣнка. Это такъ называемый пепельный свѣтъ луны (рис. 100).

Великій художникъ Леонардо да-Винчи понялъ причину этого явленія.

Земля, какъ луна тѣло темное, но, будучи солнцемъ свѣтится и отражаетъ солнечные лучи въ простран Они доходятъ до луны и вновь отражаются къ намъ. Такъ какъ это лучи, отраженные отъ части земной поверхности, а не прямо идущіе къ лунѣ отъ солнца, то они освѣщаютъ лунную поверхность слабѣе

Когда мы видимъ пепельный свѣтъ вечеромъ на западѣ, то мы воспринимаемъ лучи, отраженные на луну поверхностью Атлантическаго океана и частью Америки. Наоборотъ, когда мы видимъ пепельный свѣтъ подъ утро на востокѣ, то на луну отражаются лучи Азіей и Австраліей.

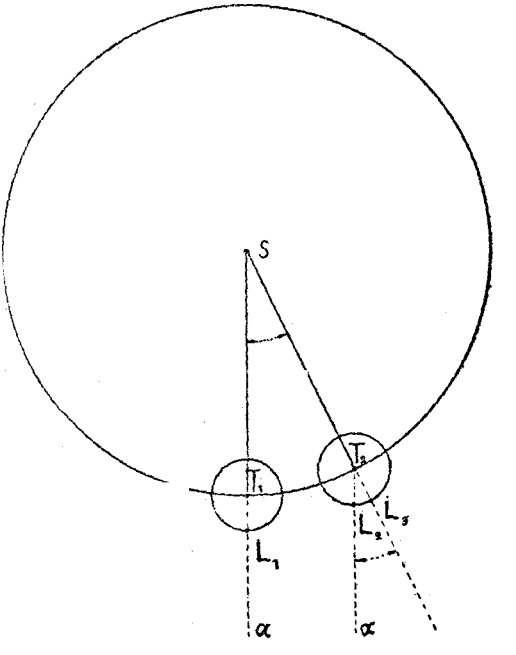


Рис. 101.

Весьма интересно отмѣтить, что яркій серпъ луны кажется большаго радіуса, чѣмъ часть диска, освѣщенная пепельнымъ свѣтомъ. Это явленіе иррадіаціи, въ силу котораго намъ яркій предметъ кажется всегда больше, чѣмъ темный.

Синодическій и сидерическій мѣсяцы Промежутокъ времени между одноименными фазами называется синодическимъ мѣсяцемъ время же, въ теченіе котораго луна дѣлаетъ полный оборотъ на небѣ, такъ что она

возвращается опять къ тѣмъ же звѣздамъ, отъ которыхъ мы начали слѣдить за движеніемъ луны, зовется сидерическимъ мѣсяцемъ

Сидерическое обращеніе луны равняется $27^1/_3$ днямъ.

Синодическое длиннѣе $29^1/_2$. Это происходитъ вслѣдствіе движенія земли

Положимъ положеніи земли T_1 (рис. 101) луна была въ полнолуніи (L_1) и находилась у звѣзды a. Когда наступитъ слѣдующее полнолуніе, земля будетъ въ T_2, а луна въ L_3 и будетъ усматриваться уже лѣвѣе звѣзды a, мимо которой она прошла раньше, когда съ земли казалась въ положеніи L_2. Такимъ образомъ и выходитъ, что синодическое обращеніе длиннѣе сидерическаго

Орбита луны Послѣдите за перемѣщеніями луны въ теченіе нѣсколькихъ дней; вы замѣтите, что она идетъ по тѣмъ же созвѣздіямъ, по которымъ движется солнце, но не по самой эклиптикѣ

Вспомните свѣтлыя зимнія ночи, когда полная луна высоко поднимается надъ горизонтомъ, и низкую луну, прячущуюся за чернымъ лѣсомъ или пригоркомъ, лѣтомъ.

Этотъ контрастъ происходитъ оттого, что луна движется по небу близко къ эклиптикѣ, которая зимой поднимается ночью высоко а лѣтомъ низко (стр. 30).

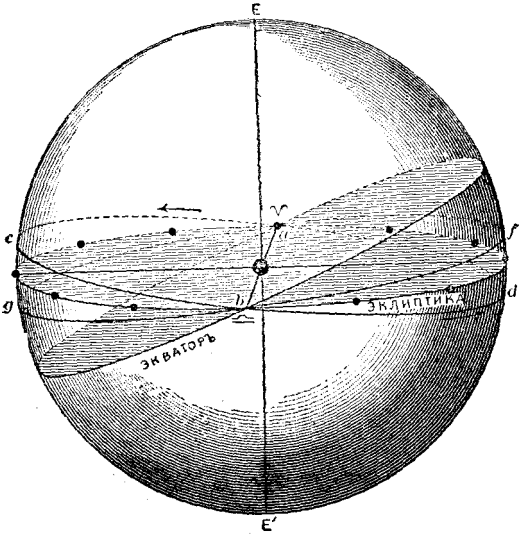


Рис. 102.

Путь луны составляетъ съ эклиптикой уголъ въ 5^0

Замѣчательно, что точки пересѣченія лунной орбиты съ эклиптикой, такъ называемые узлы, не остаются на одномъ мѣстѣ, а постепенно смѣщаются, обходя по эклиптикѣ кругомъ въ $18^1/_2$ лѣтъ.

Это значитъ, что орбита луны поворачивается, такъ что линія ея пересѣченія съ эклиптикой въ различные моменты различно направлена. Вслѣдствіе этого при каждомъ слѣдующемъ оборотѣ луны около земли она проходитъ около той или другой звѣзды нѣсколько иначе: ниже или выше, поднимаясь или опускаясь. На рис. 102 мы имѣемъ два положенія лунной орбиты, когда узлы ея a и b совпадаютъ съ равноденственными точками. При положеніи орбиты cd луна можетъ всего болѣе удаляться отъ экватора, при положеніи орбиты gf наибольшее удаленіе ея отъ экватора будетъ на дугу $gc = 10^0$ меньше, чѣмъ въ первомъ случаѣ.

Вращеніе луны. Обходя вокругъ земли, луна въ то же время вращается около нѣкоторой оси, при чемъ время вращенія луны какъ разъ равно сидерическому времени обращенія ея около земли. Это мы заключаемъ непосредственно изъ того, что луна всегда обращена къ землѣ одной и той же стороной, мы видимъ на ея дискѣ всегда одни и тѣ же пятна. Если бы луна вращалась около своей оси быстро, то она поворачивалась бы всѣми сторонами своей поверхности. То же самое, только въ болѣе продолжительное время, было бы и въ томъ случаѣ, если бы луна совсѣмъ не вращалась около оси, потому что тогда стороны, обращенныя къ землѣ, въ двухъ противоположныхъ положеніяхъ луны (напр., новолуніе и полнолуніе) были бы противоположны. Но если время вращенія около оси равно времени обращенія около земли, тогда только луна и будетъ всегда обращена къ землѣ одной и той же стороной своей поверхности. Пусть луна перешла изъ положенія M въ положеніе M', пройдя по орбитѣ дугу MM', соотвѣтствующую углу MTM' (рис. 103)

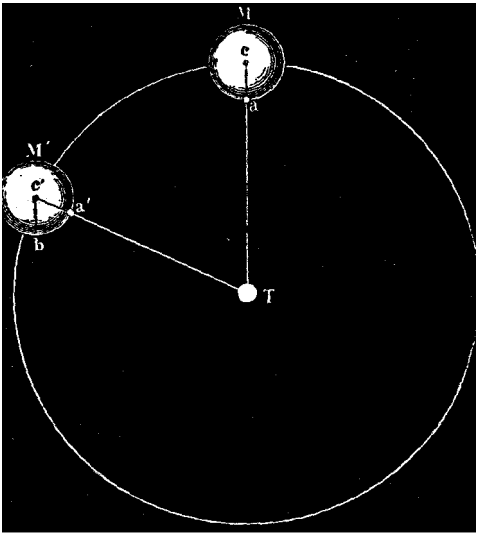


Рис. 103

Если въ то же время луна повернулась около оси на такой же уголъ $bc'a' = MTM'$, то точка a, которая казалась намъ въ серединѣ луннаго диска, когда луна была въ M, будетъ и теперь въ серединѣ диска– a'

Либрація луны При болѣе внимательномъ наблюденіи можно замѣтить, что мы видимъ больше половины поверхности луны, что луна какъ бы колеблется въ родѣ маятника, поворачивая къ намъ нѣсколько болѣе то правую часть своей поверхности, то лѣвую. Это явленіе называется либраціей

Оно является слѣдствіемъ того, что орбита луны не кругъ, а эллипсъ. Въ то время, какъ вращеніе луны происходитъ равномѣрно движеніе ея по эллипсу неравномѣрно: у перигея *) оно быстрѣе, въ апогеѣ медленнѣе.

*) Перигей точка наиболѣе близкая къ землѣ
апогей „ „ удаленная отъ земли ♁—земля.

примѣчаніе на стр. 67

На фиг 104 положеніе M соотвѣтствуетъ перигею, точка a в серединѣ

Когда луна повернется $^1/_4$ оборота, луна пройдетъ больше че тверти своего пути около земли и будетъ въ точкѣ M', точка a займет положеніе a' и будетъ казаться налѣво отъ центра видимаго диска, в которомъ будетъ теперь точка b

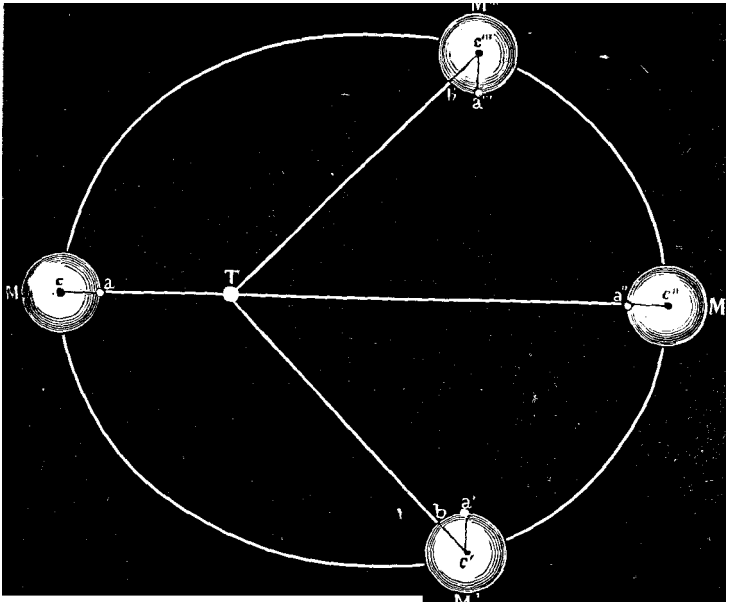


Рис. 104.

Въ апогеѣ M'', когда луна пройдетъ половину своего пути, она и въ своемъ вращеніи повернется на половину оборота, точка a будетъ въ положеніи a'', т. е. вновь въ серединѣ видимаго диска.

Когда луна повернется на три четверти, она будетъ въ положеніи M''', точка a займетъ положеніе a''' направо отъ центра видимаго диска.

Это такъ называемая либрація по долготѣ

Такъ какъ ось вращенія не перпендикулярна къ плоскости лунной орбиты, то происходитъ еще какъ бы колебаніе по широтѣ: отъ нашихъ взоровъ будетъ скрываться то сѣверный полюсъ, то южный.

Задача Первая четверть луны была 5 февраля. Когда будетъ полнолуніе?

Глава XVII **Затменія**

Лунное затменіе Земля, освѣщаемая съ одной стороны соле-

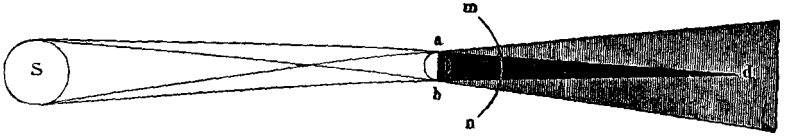


Рис. 105.

цемъ, по другую сторону оставляетъ тѣнь, которая въ видѣ конуса тянется далеко въ пространство. Когда луна, двигаясь вокругъ земли по своей орбитѣ *mn* (рис. 105), входитъ въ этотъ конусъ тѣни, на нее не могутъ непосредственно падать солнечные лучи, и мы наблюдаемъ лунное затменіе (рис. 106).

Если луна погружается въ тѣнь вся, то происходитъ, какъ говорятъ, полное затменіе, если погружается часть диска, то затменіе называется неполнымъ, частнымъ.

Такъ какъ луна движется съ запада на востокъ, то дискъ ея начинаетъ темнѣть на восточномъ краю, которымъ она погружается въ тѣнь.

Луна на самомъ дѣлѣ дѣлается темной. Поэтому затменіе будетъ видимо сразу для всего полушарія земли, обращеннаго къ лунѣ, и происходитъ для всѣхъ наблюдателей одинаково.

Лунное затменіе можетъ произойти только въ день полнолунія. Вслѣдствіе наклонности лунной орбиты въ эклиптикѣ, луна въ полнолуніи вообще проходитъ выше или ниже конуса земной тѣни. ось котораго, конечно, лежитъ въ плоскости эклиптики (см. рис. 107) Но если полнолуніе случается въ то время,

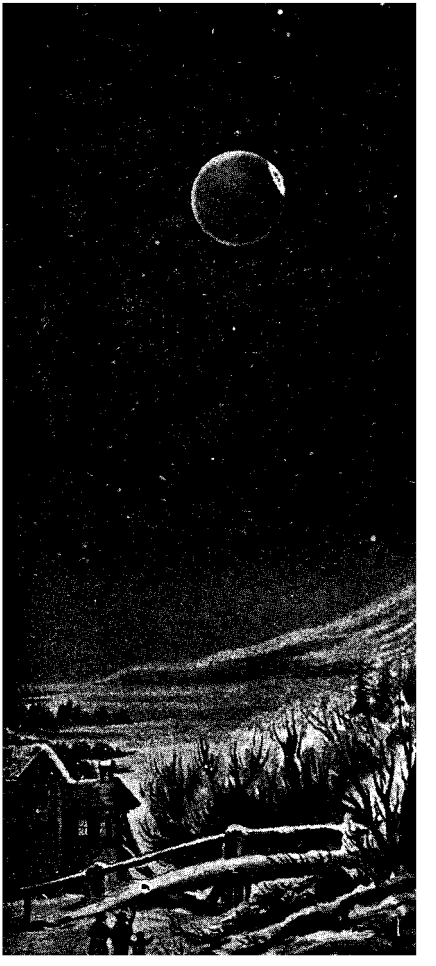


Рис. 106.—Лунное затменіе. Луна вошла въ тѣнь земли уже почти вся.

когда луна находится близъ одного изъ узловъ ея орбиты, тогда она можетъ войти въ конусъ земной тѣни.

Если луна въ самомъ узлѣ, тогда путь ея пройдетъ черезъ центръ сѣченія тѣни, въ этомъ случаѣ луна не только полностью погрузится въ тѣнь, но и останется темной приблизительно $2^1/_2$ часа.

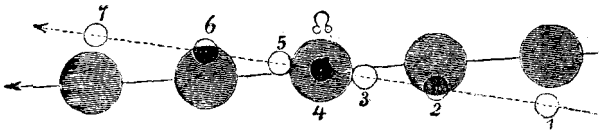


Рис. 107 Непрерывная прямая эклиптика. Пунктирная орбита луны. ☊ узелъ лунной орбиты. Если во время полнолунія луна находится въ положеніи *1* или *7*, то нѣтъ затменія. Въ положеніяхъ *2* и *6* частное затменіе. Въ положеніи *4* полное центральное. Положеніе *3* начало затменія Положеніе *5* конецъ.

Въ рѣдкихъ случаяхъ луна скрывается совершенно отъ нашихъ взоровъ. Обыкновенно она видна, но значительно темнѣетъ и получаетъ темно-красный цвѣтъ. Это объясняется тѣмъ, что крайніе лучи солнца, пронизывающіе земную атмосферу вслѣдствіе преломленія отклоняются внутрь конуса земной тѣни, попадаютъ на луну и освѣщаютъ ее.

Солнечное затменіе Подобно тому, какъ луна въ своемъ движеніи закрываетъ по временамъ звѣзды (стр. 72), она можетъ закрыть отъ насъ и солнце, какъ ширма, преградивши путь его лучамъ Тогда получается солнечное затменіе.

Это можетъ случиться только при новолуніи и опять только въ томъ случаѣ, если при этомъ луна близка къ одному изъ узловъ своей орбиты.

Солнечное затменіе представляетъ явленіе, существенно отличное отъ явленія луннаго затменія.

При лунномъ затменіи мы видимъ дѣйствительное потемнѣніе свѣтила, при солнечномъ блестящее солнце лишь загораживается отъ нашихъ взоровъ темнымъ тѣломъ луной, какъ ширмой Луна сравнительно съ солнцемъ очень малое тѣло Поэтому она можетъ закрыть солнце только въ силу того, что сравнительно близка къ намъ. Но вслѣдствіе небольшого разстоянія для луны велико параллактическое смѣщеніе. Наблюдатели, находящіеся въ различныхъ пунктахъ земной поверхности, видятъ ее въ одинъ и тотъ же физи-

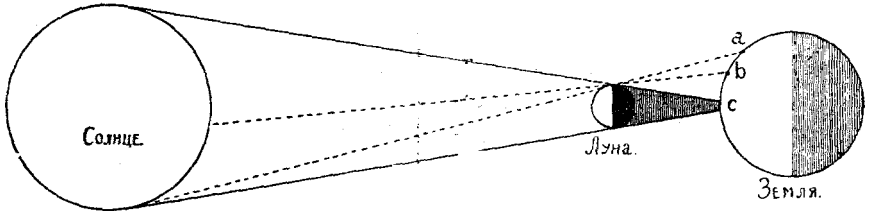


Рис. 108.

ческій моментъ по различнымъ направленіямъ, и если луна для одного наблюдателя *c* (рис. 108) закроетъ солнце вполнѣ (полное

затменіе, рис. 109), для другого *b* будетъ казаться закрытой только нижняя часть солнечнаго диска (затменіе неполное, частное, рис. 110), для третьяго *a* совсѣмъ затменія въ этотъ моментъ не будетъ.

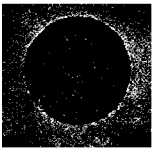


Рис. 109.

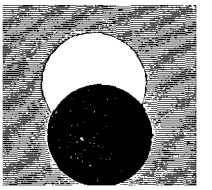


Рис. 110.

Смотря по тому, на каком разстояніи отъ насъ находится луна, дискъ ея кажется намъ больше и меньше.

Поэтому моментъ полной фазы можетъ продолжаться различное время, отъ 0 до 6 минутъ. Если затменіе случается при наибольшемъ отъ насъ разстояніи луны, когда дискъ ея кажется намъ меньше диска солнца (рис. 111), то даже при центральномъ видимомъ

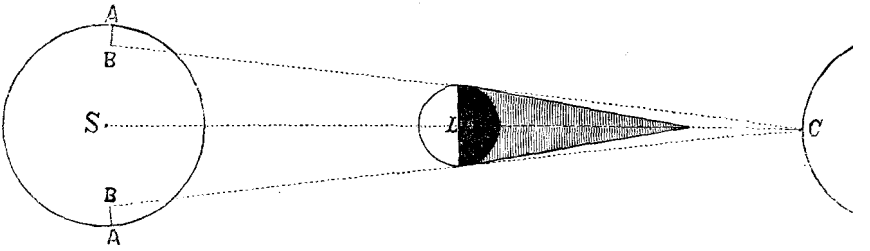


Рис. 111.

совпаденіи дисковъ полнаго затменія не будетъ, а произойдетъ такъ называемое кольцеобразное солнечное затменіе (рис. 112).

Полное затменіе даже при наибольшемъ видимомъ діаметрѣ луны, какъ видно изъ рис. 108-го и 113-го, можетъ быть видимо сразу только въ очень ограниченной области на землѣ. Постепенно тѣнь, отбрасываемая луной, перемѣщается по землѣ. На рисункѣ 114 мы имѣемъ полосу полнаго затменія 8-го августа 1914 г., которое наблюдалось главнымъ образомъ въ Россіи. Ширина полосы около 130 верстъ. По средней линіи лежатъ мѣста, въ которыхъ полная фаза продолжалась наиболѣе долго ($2^1/_4$ мин.). Въ мѣстностяхъ, лежащихъ на краяхъ полосы, полная фаза наступила только на одинъ моментъ. Внѣ полосы было видно уже частное затменіе, и чѣмъ дальше отъ центральной линіи, тѣмъ меньшая часть солнечнаго диска покрывалась луной.

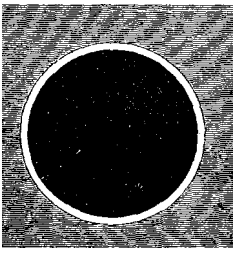


Рис. 112.

Полное солнечное затменіе представляетъ одно изъ самыхъ поразительныхъ явленій природы, которое оставляетъ глубокое впечатлѣніе на наблюдателя. Пока остается хоть небольшая часть солнечнаго диска незакрытой, ничего особеннаго во внѣшней обстановкѣ не замѣчается

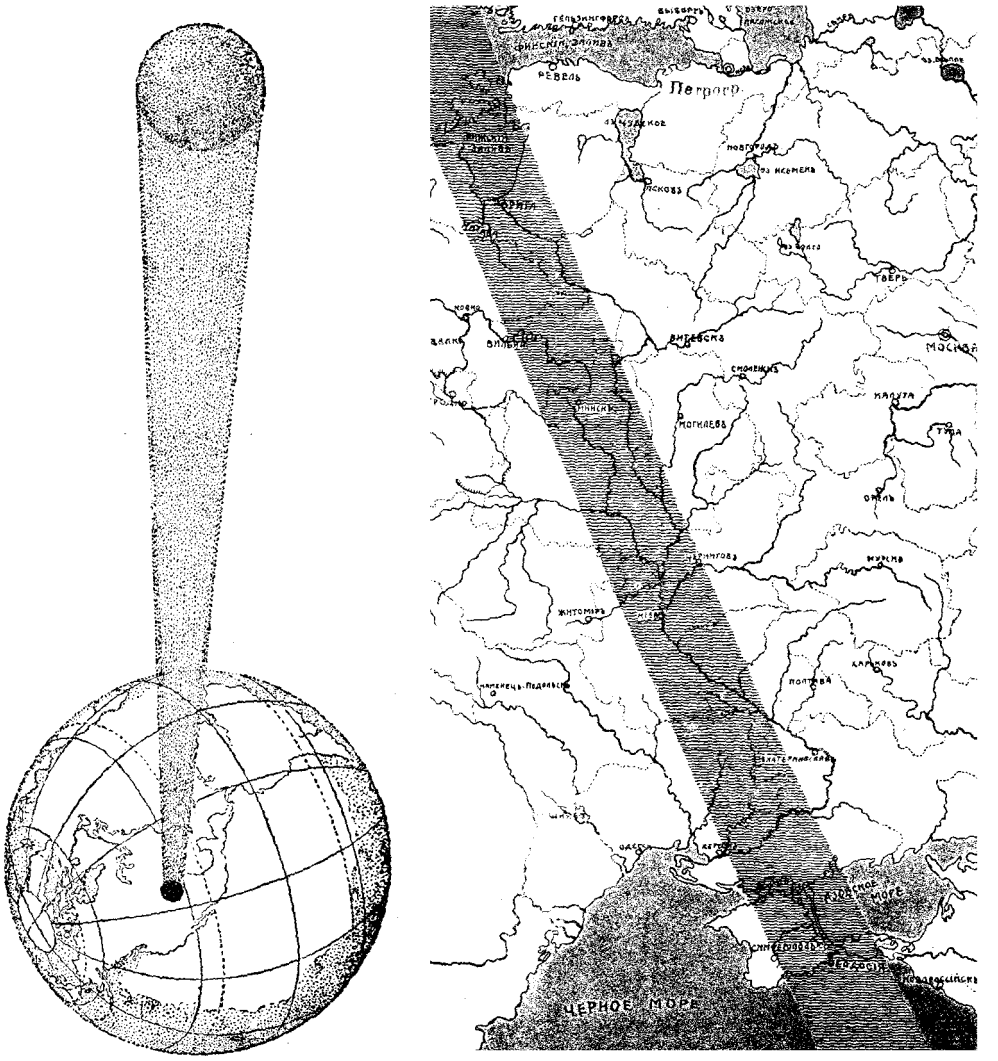


Рис. 113 Небольшой черный кружокъ тѣнь луны на землѣ. Въ предѣлахъ его и видно полное затменіе.

Становится, конечно, нѣсколько темнѣе, какъ будто бы находитъ гроза, но чувствуется все-таки присутствіе нашего животворящаго солнца. Но вотъ пропадаетъ послѣдній лучъ солнечнаго свѣта, и тогда сразу все измѣняется какъ кругомъ на землѣ, такъ и на небѣ. Наступаетъ непри-

вычная тьма, хотя не полная ночь, но все-таки видны звѣзды; чтобы прочитать что-нибудь, иногда нужна лампа. Зелень перекрашивается въ сѣрый цвѣтъ. Человѣческая кожа получаетъ непріятный трупный оттѣнокъ. По землѣ съ ужасной быстротой бѣгутъ тѣни. Животныя и птицы приходятъ въ волненіе, а на свинцово-сѣромъ фонѣ неба вокругъ чернаго диска луны сіяетъ серебристый вѣнецъ, такъ называемая солнечная корона, внутри которой въ трубу можно видѣть поднимающіеся отъ диска луны красные солнечные выступы. Но какъ только появится вновь одинъ лучъ солнца, все чудесное исчезаетъ, темный обыватель, ожидавшій свѣтопреставленія, вздыхаетъ свободно и уже спокойно слѣдитъ, какъ дискъ луны сходитъ съ солнца (рис. 115)

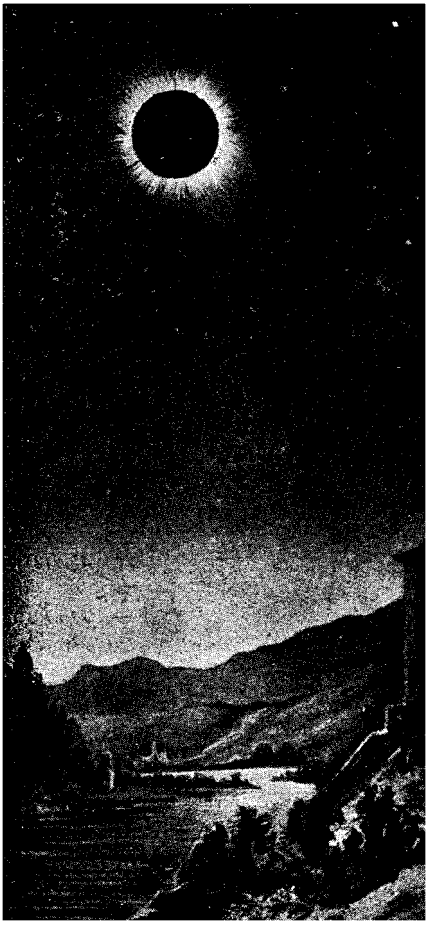


Рис. 115.—Полное солнечное затменіе.

Между движеніемъ солнца и луны существуетъ такое соотношеніе, что черезъ 18 лѣтъ 11 дней повторяются приблизительно тѣ же относительныя положенія свѣтилъ. Вслѣдствіе этого устанавливается періодичность въ затменіяхъ. Образуется циклъ, который носитъ названіе „саросъ“. Съ помощью его еще въ древнемъ Китаѣ дѣлались предсказанія затменій.

Сравнимъ для примѣра 1887 и 1905 годы

1887 г. н. ст.

Частное лунное затменіе	февраля 8
Кольцеобразное солнечное затменіе . . .	февраля 22
Частное лунное затменіе	августа 3
Полное солнечное затменіе.	августа 18

(было видимо въ Россіи)

1905 г. н. ст.

Частное лунное затменіе	февраля 19
Кольцеобразное солнечное затменіе.	марта 5
Частное лунное затменіе	августа 14
Полное солнечное затменіе.	августа 29

(было видимо въ Испаніи и Сѣверной Африкѣ).

Задача 1896 г. 27 іюля ст. ст. наблюдалось полное солнечное затменіе Указать ближайшее предыдущее и ближайшее слѣдующее, ему соотвѣтствующія въ циклѣ саросъ.

Глава XVIII **Движеніе планетъ Система Птоломея и система Коперника Законы Кеплера**

Звѣзды блуждающія, т. е. перемѣщающіяся на небѣ отъ созвѣздія къ созвѣздію, такъ называемыя планеты, были извѣстны въ глубокой древности. Халдеи и египтяне различали ихъ по характеру ихъ блеска и называли именами своихъ боговъ.

То же имѣло мѣсто и въ древней Греціи. Одну планету, вѣроятно, потому, что она часто скрывается въ лучахъ солнца, греки называли звѣздой Гермеса бога торговли, ловкости, проворства, другая планета за свою яркость и красоту названа была звѣздой Афродиты богини красоты, третья по красному цвѣту, напоминающему кровь, звѣздой Ареса бога войны, четвертая со спокойнымъ величавымъ блескомъ звѣздой Зевса, отца „безсмертныхъ и смертныхъ“, пятая, наиболѣе удаленнная, звѣздой старѣйшаго изъ боговъ Кроноса.

Въ настоящее время употребительны латинскія названія, при чемъ вмѣсто звѣзды того или другого бога говорятъ просто имя бога: Меркурій, Венера, Марсъ, Юпитеръ и Сатурнъ. Греки причисляли къ планетамъ также солнце и луну. Для сокращенія введены обозначенія

солнце ☉, луна ☾, Меркурій ☿, Венера ♀, земля ♁, Марсъ ♂, Юпитеръ ♃, Сатурнъ ♄

Движенія Меркурія и Венеры Меркурій и Венера никогда не отходятъ отъ солнца далеко. Они для нашихъ взоровъ, какъ маятники, переходятъ то на одну сторону отъ него, то на другую. Венера зовется въ народѣ утренней и вечерней звѣздой. Если она налѣво отъ солнца, то она видна бываетъ вечеромъ на западѣ, вскорѣ послѣ заката солнца. Она видимо удаляется отъ него все дальше и дальше, потомъ останавливается и начинаетъ приближаться къ нему, теряется въ его лучахъ, а черезъ нѣсколько дней появляется справа отъ солнца, но уже предупреждая его восходъ, какъ звѣзда утренняя. Удалившись на нѣкоторое разстояніе вправо, она поворачиваетъ опять къ солнцу, вновь скрывается въ его лучахъ и черезъ нѣсколько дней вновь появляется налѣво отъ солнца.

Чувствуется ясно, что планета ходитъ вокругъ солнца по кругу, на который мы смотримъ съ земли извнѣ

Наблюденія въ трубу даютъ подтвержденіе этому заключенію. Мы видимъ у Венеры фазы, какъ на лунѣ

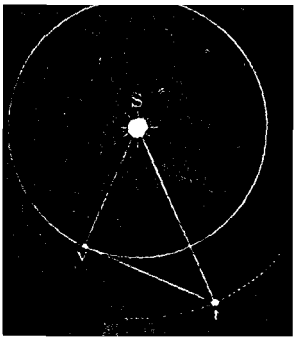


Рис. 116.—S — солнце; V Венера, движущаяся вокругъ солнца по кругу; t земля

Когда планета далеко за солнцемъ это маленькій круглый дискъ. По мѣрѣ удаленія планеты налѣво, дискъ постепенно увеличивается въ діаметрѣ, и получается ущербъ слѣва (рис. 117).

Ущербъ все болѣе и болѣе увеличивается. Венера является освѣщенной наполовину, потомъ она имѣетъ видъ серпа, который дѣлается все уже и уже, увеличиваясь въ то же время въ діаметрѣ. Скрывшись на время въ лучахъ солнца, Венера появляется вновь въ видѣ серпа, но уже изогнутаго въ другую сторону (т. е. опять къ солнцу) и повторяетъ всѣ прежнія фазы въ обратномъ порядкѣ.

Такъ же движется и Меркурій

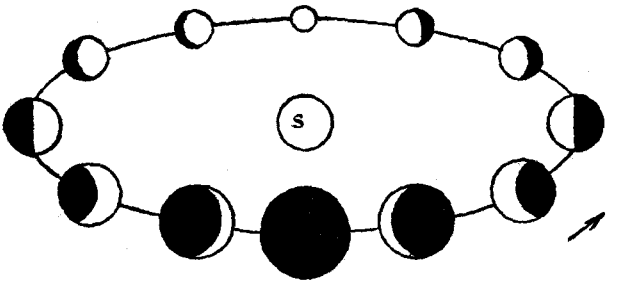


Рис. 117

Положенія планеты, когда она имѣетъ то же прямое восхожденіе, какъ и солнце, называются соединеніями. Ихъ два: когда планета за солнцемъ верхнее соединеніе, когда она передъ солнцемъ нижнее.

Движенія Марса, Юпитера и Сатурна Перемѣщенія Марса, Юпитера и Сатурна нѣсколько другого характера. Эти планеты могутъ удаляться отъ солнца на всевозможныя угловыя разстоянія, мы можемъ наблюдать ихъ также въ противостояніи, когда планета по прямому восхожденію противоположна солнцу и проходитъ въ верхней кульминаціи въ полночь.

Весьма интересны узлы, или петли, которые вычерчиваютъ планеты на небѣ. Планета идетъ сначала справа налѣво такъ называемымъ прямымъ движеніемъ, потомъ останавливается, поворачиваетъ назадъ, идетъ попятнымъ движеніемъ, вновь останавливается и вновь начинаетъ свое прямое движеніе, чтобы на слѣдующій годъ вычертить подобную петлю въ другомъ созвѣздіи (рис. 17 и 118)

Система Птоломея и система Коперника Попятныя движенія планеты были большой загадкой для древнихъ

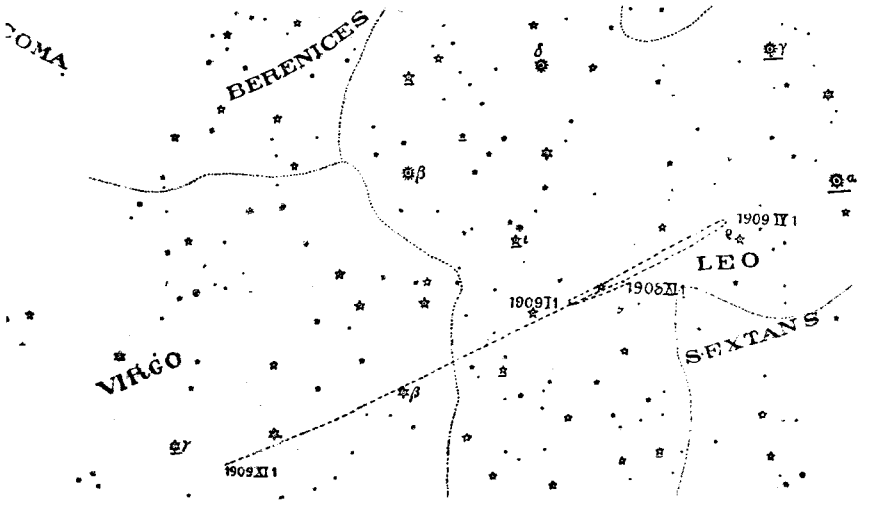


Рис 118 Видимый путь Юпитера на небѣ въ 1909 г.

Александрійскій астрономъ Птоломей во II-мъ вѣкѣ по Р. Хр ля объясненія ихъ далъ сложное геометрическое построеніе съ нѣсколькими системами круговъ— это такъ называемая теорія эпициклoвъ. По этой теоріи каждая планета двигалась по кругу, называемому эпициклoмъ, центръ котораго катился по другому кругу -деферентy, охватывающему землю, которая являлась общимъ центромъ всей системы.

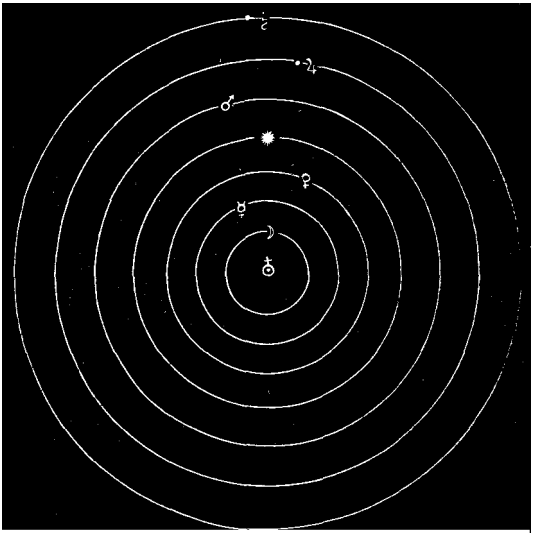


Рис. 119

На рис. 119-мъ мы имѣемъ расположеніе планетъ въ системѣ Птоломея. Въ центрѣ — земля, внутренній кругъ деферентъ луны, потомъ деферентъ Меркурія, далѣе Венеры, солнца, Марса, Юпитера и Сатурна.

Система Птоломея продержалась болѣе $1^1/_2$ тысячи лѣтъ.

Коперникъ измѣнилъ основную точку зрѣнія и упростилъ теорію движенія планетъ. Онъ понялъ, что не около земли, какъ неподвижнаго центра, движутся солнце, луна и планеты, а сама земля есть планета и вмѣстѣ съ другими движется около центра системы солнца, луна же спутникъ земли.

Объясненіе попятныхъ движеній Коперникъ просто, наглядно объяснилъ остановки и попятныя движенія планетъ это все явленія кажущіяся, происходящія оттого, что наблюдатель, находящійся на движущейся землѣ, смотритъ на планеты съ различныхъ точекъ пространства; на самомъ же дѣлѣ, каждая планета идетъ по своему кругу вокругъ солнца всегда по одному направленію и равномѣрно

Пусть T_1, T_2 и T_3 (рис 120) три положенія земли, p_1, p_2 и p_3 соотвѣтствующія имъ положенія внѣшней планеты, т. е. такой,

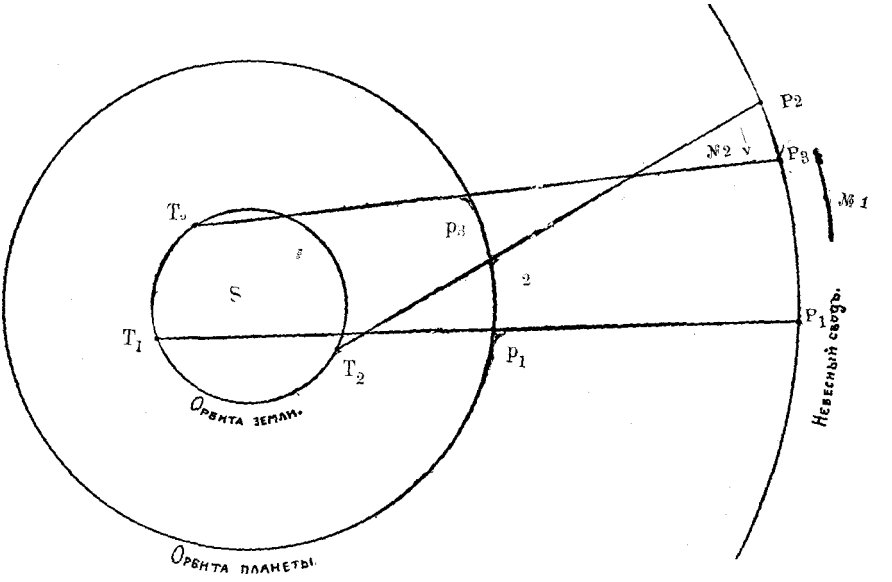


Рис. 120

орбита которой охватываетъ орбиту земли. Изъ T_1 мы видимъ планету на небѣ въ точкѣ P_1, изъ T_2 въ точкѣ P_2, а изъ T_3 въ точкѣ P_3.

Хотя сама планета перемѣщается вокругъ солнца все въ одномъ направленіи (p_1 p_2 p_3), намъ будетъ казаться, что сначала она идетъ прямымъ движеніемъ по стрѣлкѣ № 1 отъ P_1 къ P_2, а потомъ попятнымъ по направленію стрѣлки № 2 отъ P_2 къ P_3.

Такъ движутся планеты: Марсъ, Юпитеръ и Сатурнъ

Подобнымъ образомъ объяснены Коперникомъ и всѣ особенности движенія планетъ, которыя мы называемъ теперь внутренними, орбиты которыхъ находятся внутри орбиты земли, т. е. Меркурія и Венеры

Вычисленіе разстояній планетъ отъ солнца Разсужденія Коперника позволяютъ вычислить и разстоянія планетъ отъ солнца.

Будемъ наблюдать внутреннюю планету въ ея наибольшемъ угловомъ удаленіи отъ солнца. Пусть этотъ уголъ $StV = \alpha$ (рис. 116)

Тогда изъ прям. △-ка SVt имѣемъ

$$SV = St \sin \alpha.$$

Если принять разстояніе земли отъ солнца St за единицу, то

$$SV = \sin \alpha.$$

Для Меркурія наибольшее угловое разстояніе отъ солнца 28^0, для Венеры—48^0.

Такимъ образомъ,

для Меркурія	для Венеры
$SV = \sin 28^0$	$SV = \sin 48^0$
SV = 0,4 разстоянія земли отъ солнца.	SV = 0,7 разстоянія земли отъ солнца.

Для того, чтобы разсчитать разстояніе отъ солнца внѣшней планеты, надо знать ея сидерическое и синодическое обращенія.

Сидерическое обращеніе это—промежутокъ времени, въ теченіе котораго планета обходитъ кругомъ все небо и возвращается къ тѣмъ же звѣздамъ, отъ которыхъ мы начали за ней слѣдить.

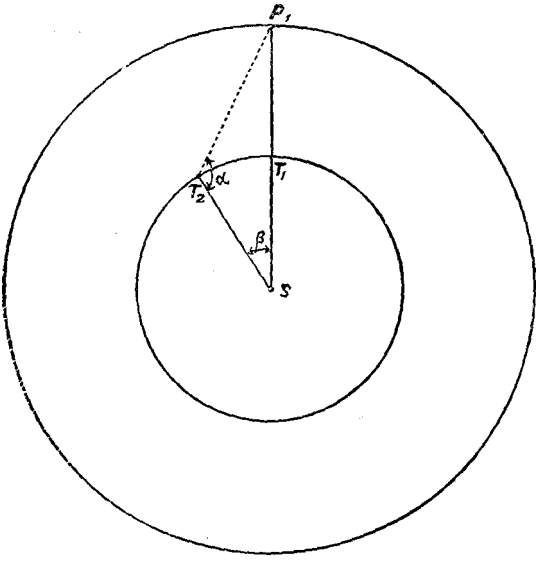


Рис. 121

Синодическое обращеніе промежутокъ времени, черезъ который планета занимаетъ прежнее положеніе по отношенію къ солнцу.

Какъ сидерическое, такъ и синодическое обращенія даются непосредственными наблюденіями (см. табл. планетъ въ концѣ книги). Пусть въ нѣкоторый моментъ планета находилась въ противостояніи,—положеніе P_1 (рис. 121). Когда она обойдетъ по небу кругомъ и будетъ опять въ точкѣ P_1, земля будетъ находиться въ положеніи T_2.

Опредѣлимъ въ этотъ моментъ уголъ $P_1T_2S = \alpha$.

Уголъ β, соотвѣтствующій дугѣ T_1T_2, тоже будетъ извѣстенъ, потому что, зная сидерическое обращеніе планеты, мы можемъ вычислить, сколько градусовъ прошла земля по своей орбитѣ. Нужно будетъ только при этомъ отбросить цѣлое число окружностей.

Въ △-кѣ ST_2P_1 мы будемъ, такимъ образомъ, знать сторону ST_2, принимаемую за единицу, и два прилегающихъ къ ней угла: α и β. Слѣдовательно, рѣшая его, найдемъ разстояніе планеты SP_1

Оказывается, что для Марса оно равняется 1,5, для Юпитера 5,2 и Сатурна 9,5 разстояній земли отъ солнца.

Такимъ образомъ, планъ солнечной системы по Копернику таковъ какъ имѣемъ на рис. 122. Въ центрѣ системы солнце, вокругъ него движутся по кругамъ планеты: Меркурій на разстояніи 0,4, Венера на разстояніи 0,7, земля съ луной на разстояніи 1, Марсъ на разстояніи 1,5, Юпитеръ на разстояніи 5,2 и Сатурнъ на разстояніи 9,5.

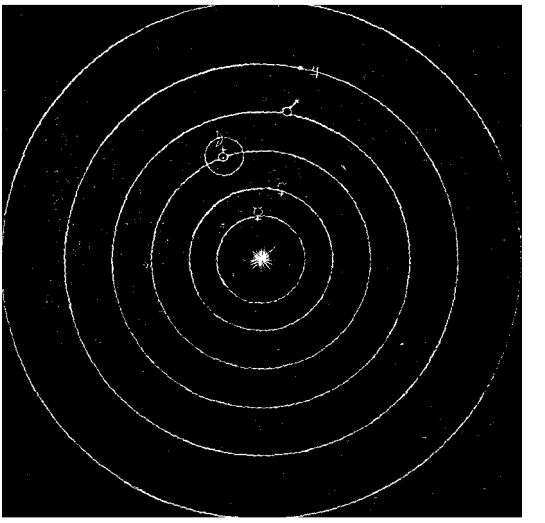


Рис. 122. Солнечная система по Копернику

Въ системѣ Коперника мы имѣемъ не только порядокъ распредѣленія планетъ около солнца, но также и относительныя разстоянія планетъ отъ него

Законы Кеплера Теорія Коперника является первымъ приближеніемъ въ изученіи истиннаго движенія планетъ. Второй стадіей служатъ законы Кеплера.

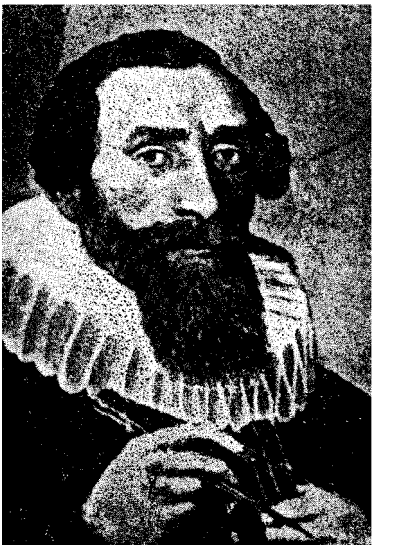


Рис. 123. Кеплеръ.

Въ концѣ XVI ст. на островѣ Венѣ близъ Копенгагена стояла громадная обсерваторія съ прекрасными инструментами. Здѣсь въ теченіе многихъ лѣтъ астрономъ Тихо-де-Браге производилъ свои наблюденія, которыя вызываютъ удивленіе по необычайной для того времени точности. Но труды знаменитаго наблюдателя не получили бы такого значенія въ исторіи науки, если бы за ихъ обработку не взялся одинъ изъ учениковъ его Кеплеръ (рис. 123).

Жизнь этого великаго мужа (1571 1630 г.) представляла почти сплошь страданія и лишенія: слабое отъ рожденія здоровье, тяжелая жизнь въ домѣ отца, изгнаніе за протестантское вѣроисповѣданіе, постоянная матеріальная нужда, необходимость отвлекаться отъ своихъ

научныхъ изслѣдованій къ совершенно не стоящимъ вниманія занятіямъ, болѣзни и смерть, поражавшія одного за другимъ членовъ его семьи, наконецъ, страшное обвиненіе престарѣлой матери въ колдовствѣ, грозившее мучительной пыткой «вѣдьмѣ» все это въ сильной степени потрясало его нравственныя и физическія силы. Но тяжелые удары судьбы не заглушили въ немъ могучаго духа, стремившагося къ познанію законовъ, управляющихъ движеніемъ небесныхъ тѣлъ. Все свое свободное время онъ отдавалъ утомительнымъ, длиннымъ вычисленіямъ, стараясь согласовать дѣлаемыя имъ гипотезы относительно движенія планетъ съ тѣмъ, что давали наблюденія Тихо-де-Браге. Онъ выбралъ для своихъ изслѣдованій сначала планету Марсъ. И въ этомъ выборѣ проявилась его геніальность, потому что тѣ уклоненія, которыя замѣчались въ движеніяхъ Марса, были больше, чѣмъ у другихъ планетъ, и могли лучше обнаружить истинную ихъ причину.

Послѣ многихъ неудачныхъ попытокъ онъ, наконецъ, нашелъ, что наблюденія Марса вполнѣ удовлетворяютъ орбитѣ въ видѣ эллипса. Для другихъ планетъ оказалось то же.

Такимъ образомъ Кеплеромъ былъ установленъ такъ называемый его первый законъ:

Орбита планеты есть эллипсъ, въ одномъ изъ фокусовъ котораго находится солнце.

Второй законъ опредѣляетъ, какъ происходитъ движеніе планеты по эллипсу:

Радіусъ-векторъ планеты описываетъ площади, пропорціональныя временамъ.

Когда планета далека отъ солнца, секторъ, описанный радіусомъ-векторомъ, напримѣръ, за одинъ день, будетъ длинный, но узкій; когда планета ближе, секторъ, описанный въ такое же время, будетъ имѣть такую же площадь и, слѣдовательно, будетъ болѣе широкій (рис. 124). Такимъ образомъ, угловыя перемѣщенія планеты при движеніи по эллипсу не могутъ быть равномѣрны. Близъ афелія планета движется медленнѣе, близъ перигелія быстрѣе. Это мы видѣли раньше (на стр. 32 и 67-ой) для видимаго перемѣщенія солнца.

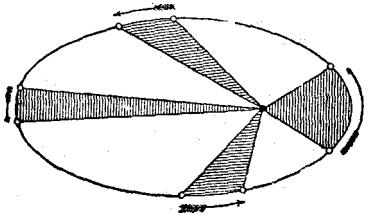


Рис. 124.

Своимъ третьимъ закономъ Кеплеръ связываетъ всѣ планеты въ одну систему:

Квадраты временъ обращенія планетъ относятся, какъ кубы ихъ среднихъ разстояній отъ солнца.

Разстояніе въ перигеліи наименьшее AF. (См. рис. эллипса въ приложеніи первомъ).

Разстояніе въ афеліи наибольшее FB

Среднее разстояніе $^1/_2$ (AF+FB) =большой полуоси эллипса =a

Пусть для одной планеты время обращенія t_1 и среднее разстояніе a_1, а для другой—t_2 и a_2.

Тогда

$$\frac{t_1^2}{t_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

Для земли время обращенія около солнца $t_1 = 1$ году; ея разстояніе отъ солнца $a_1 = 1{,}000$

Для Меркурія $t_2 = 0{,}2408$ года и $a_2 = 0{,}387$

Подставляя, получимъ:

$$\left(\frac{t_1}{t_2}\right)^2 = 17{,}25; \quad \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^3 = 17{,}25$$

Для Венеры надо взять $t_2 = 0{,}6152$ и $a_2 = 0{,}723$

Тогда

$$\left(\frac{t_1}{t_2}\right)^2 = 2{,}64; \quad \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^3 = 2{,}65$$

Задача 1 Опредѣлить сидерическое время обращенія Марса около солнца, если его разстояніе = 1,524. **Отв.**—1,881 года

Задача 2. Сидерическое обращеніе Юпитера — 11,862 года, Сатурна — 29,457 лѣтъ. Опредѣлить разстоянія этихъ планетъ отъ солнца.

Отв. — 5,202 и 9,538.

Важно отмѣтить, что эллипсы, по которымъ движутся планет весьма **мало** отличаются отъ круговъ. Наиболѣе вытянутым являются орбиты Меркурія и Марса.

Всѣ орбиты планетныя мало отклонены отъ эклиптики. Наибольшій уголъ наклоненія (7°) имѣетъ орбита планеты Меркурія. Такимъ образомъ, планеты движутся по небу, лишь немного удаляясь въ ту и другую сторону отъ эклиптики.

Глава XIX **Основные законы движенія Законъ всемірнаго тяготѣнія. Понятіе о возмущеніяхъ Массы планетъ Приливы и отливы Прецессія и нутація**

Кеплеръ установилъ геометрическія соотношенія, которыя имѣютъ мѣсто въ движеніи планетъ. Но онъ догадывался, что должна быть и общая причина, обусловливающая эти соотношенія. Указать и опредѣленно формулировать дѣйствіе этого основного фактора онъ не могъ. Это сдѣлано Ньютономъ, который открылъ законъ всемірнаго тяготѣнія, являющійся третьей стадіей въ нашемъ познаніи истиннаго движенія планетъ.

Исаакъ Ньют 1643 1727 г геніальный англійскій математикъ (рис. 125). Онъ положилъ основу теоретической механикѣ своими законами, или аксіомами движенія.

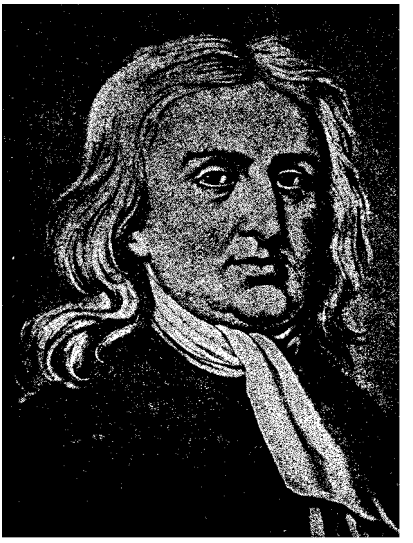


Рис. 125.—Исаакъ Ньютонъ

Основные законы движенія

Первый законъ—законъ инерціи: всякое тѣло стремится сохранить свое состояніе: оно или находится въ покоѣ, или движется прямолинейно и равномѣрно.

Второй законъ—законъ дѣйствія силы; сила дѣйствуетъ независимо отъ другихъ силъ. Измѣненіе движенія (т. е. ускореніе) пропорціонально дѣйствующей силѣ.

На основаніи этого закона устанавливается формула:

$$P = m \cdot g$$

—сила равна произведенію массы на ускореніе.

Третій законъ: дѣйствіе равно противодѣйствію

Желѣзо тянетъ магнитъ, магнитъ съ такой же силой тянетъ желѣзо. При этомъ сила притяженія магнита желѣзомъ дѣйствуетъ на магнитъ, сила притяженія магнитомъ желѣза приложена къ желѣзу.

Движеніе планетъ объясняется притяженіемъ солнца.—По закону инерціи тѣло, на которое не дѣйствуетъ никакая сила, находится въ покоѣ, или движется прямолинейно. Но если тѣло движется по кругу, то ясно, что въ каждый моментъ оно отклоняется отъ прямолинейнаго движенія нѣкоторой силой, направленной къ центру. Въ точкѣ *a* (рис. 126) тѣло стремится итти по прямой *ab*; но въ этотъ моментъ притяженіе къ центру *m* заставляетъ его перемѣститься на *ac*, въ результатѣ тѣло пройдетъ *ad*; точно такъ же отъ сложенія *de* и *df* получится перемѣщеніе *dg* и т. д. При непрерывномъ дѣйствіи силы, притягивающей движущееся тѣло къ опредѣленному центру, получится движеніе вокругъ этого центра по кривой замкнутой.

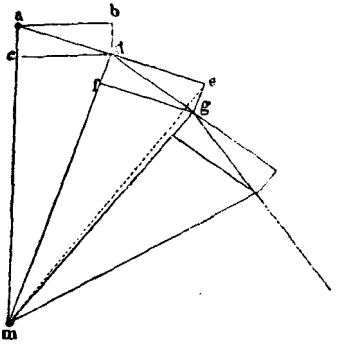


Рис. 126.

Въ курсахъ физики выводится формула Гюйгенса, опредѣляющая центростремительное ускореніе въ круговомъ движеніи:

$$K = \frac{v^2}{r}$$

гдѣ v скорость по окружности и r — радіусъ, т. е. разстояніе движущейся точки отъ центра. Если время обращенія въ секундахъ t, то

$$v = \frac{2\pi r}{t}$$

такъ что

$$K = \frac{4\pi^2 r}{t^2}$$

Размышляя о движеніи планетъ, Ньютонъ допустилъ, что на каждую изъ нихъ дѣйствуетъ сила притяженія солнца.

Но для всѣхъ ли планетъ одинакова эта сила?

Какъ измѣняется она, если не одинакова?

На эти вопросы помогъ Ньютону отвѣтить третій законъ Кеплера.

Силы, дѣйствующія на одну и ту же массу, по второй аксіомѣ Ньютона, пропорціональны ускореніямъ:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{g_1}{g_2}$$

Слѣдовательно, силы, дѣйствующія на планеты, измѣняются такъ же, какъ ускоренія планетъ.

Пусть

	для одной планеты	для другой планеты
разстояніе отъ солнца	r_1	r_2
время обращенія	t_1	t_2

такъ что

ускореніе $K_1 = \frac{4\pi^2 r_1}{t_1^2}$ $K_2 = \frac{4\pi^2 r_2}{t_2^2}$

Тогда отношеніе ускореній

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{t_2^2 . 4\pi^2 r_1}{t_1^2 . 4\pi^2 r_2} = \frac{t_2^2}{t_1^2} . \frac{r_1}{r_2}$$

Но по третьему закону Кеплера

$$\frac{t_2^2}{t_1^2} = \frac{r_2^3}{r_1^3}$$

Подставляя, получимъ:

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{r_2^3 . r_1}{r_1^3 . r_2}$$

и по сокращеніи:

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2},$$

т. е. ускоренія, а слѣдовательно, и силы притяженія пла-

нетъ солнцемъ (при расчетѣ на одну и ту же массу) обратно пропорціональны квадратамъ разстояній планетъ отъ солнца.

Движеніе луны объясняется притяженіемъ земли Вторымъ шагомъ въ изслѣдованіи Ньютона было рѣшеніе вопроса, подъ дѣйствіемъ какой силы движется луна около земли

Ньютонъ обратилъ вниманіе на общеизвѣстное явленіе паденія тѣлъ внизъ по вертикальному направленію. Паденіе, очевидно, происходитъ подъ притяженіемъ земли. Сила этого притяженія проявляется не только у самой поверхности земли, но также на различной высотѣ, даже на вершинахъ высокихъ горъ; быть можетъ, она распространяется и дальше. Не она ли заставляетъ луну кружить около земли?

Ньютонъ рѣшается допустить аналогію между притяженіемъ земли на луну и притяженіемъ солнца на планеты. Онъ принимаетъ для измѣненія этого притяженія и тотъ законъ, который, повидимому, господствуетъ въ явленіяхъ движенія планетъ, т. е., что сила притяженія измѣняется обратно пропорціонально квадрату разстоянія. Если такъ, то, называя ускореніе силы тяжести на поверхности земли черезъ g_0, ускореніе земного притяженія на разстояніи луны черезъ g, радіусъ земного шара черезъ r, разстояніе луны отъ центра земли черезъ R, мы должны имѣть:

$$\frac{g_0}{g} = \frac{R^2}{r^2},$$

такъ что

$$g_0 = g\,\frac{R^2}{r^2}$$

Но изъ кругового движенія луны по формулѣ Гюйгенса имѣемъ

$$g = \frac{4\pi^2 R}{t^2},$$

гдѣ t– число секундъ въ сидерическомъ періодѣ обращенія луны.

Слѣдовательно,

$$g_0 = \frac{4\pi^2 R}{t^2} \cdot \frac{R^2}{r^2},$$

или

$$g_0 = \frac{4\pi}{t^2}\left(\frac{R}{r}\right)^3 \pi r = \frac{4\pi}{t^2}\left(\frac{R}{r}\right)^3 180.\ a,$$

если черезъ a обозначимъ длину одного градуса земного меридіана.

Ньютонъ взялъ извѣстныя въ его время числа:

$t =$ 27 дн. 7 час. 43 мин. 48 сек. $=$ 2360628 сек.

$R = 60{,}4\,.\,r$

$a =$ 317535 англ. футовъ

и получилъ $g_0 = 28{,}4$ фут. Между тѣмъ непосредственные опыты

давали для g_0 приблизительно 32 фут. Это разногласіе внушило Ньютону подозрѣніе, что онъ стоитъ на невѣрномъ пути, и онъ отложилъ свои вычисленія. Но черезъ нѣсколько лѣтъ ему стало извѣстно, что Пикаръ во Франціи сдѣлалъ новое измѣреніе дуги земного меридіана и нашелъ длину одного градуса равной 365722 фут.

Подставивши теперь это число, Ньютонъ получилъ для g_0 число 32,7 англ. фут. Такимъ образомъ, недоразумѣніе разъяснилось. Можно дѣйствительно принять, что сила притяженія земли простирается до луны, и что она измѣняется обратно пропорціонально квадрату разстоянія.

Задача Вычислить значенія $g_0 = \frac{4\pi^2}{t^2}\left(\frac{R}{r}\right)^3 . r$

при $t = 2360600$ сек.; $\frac{R}{r} = 60$

и $r = 6400$ клм. $= 6400000$ метр

Рѣшеніе

$$\begin{aligned} lg\,4 &= 0{,}60206 \\ lg\,\pi^2 &= 0{,}99434 \\ lg\,r &= 6{,}80618 \\ 3lg\,\frac{R}{r} &= 5{,}33445 \\ \hline & 13{,}73703 \\ 2lg\,t &= 12{,}74604 \\ \hline lg\,g_0 &= 0{,}99099 \end{aligned}$$

$g_0 = 9{,}8$ метра.

Среднее значеніе g_0 изъ опытовъ тоже 9,8 метра.

Законъ всемірнаго тяготѣнія. — Солнце притягиваетъ планеты, земля притягиваетъ подобнымъ же образомъ луну.

По третьей аксіомѣ и обратно: если солнце притягиваетъ планету, то планета съ той же силой притягиваетъ солнце, а также: если земля притягиваетъ луну, то и луна притягиваетъ землю съ той же силой. Ньютонъ отмѣтилъ общее свойство матеріи, которое проявляется по опредѣленному закону: всякая матеріальная частица тяготѣетъ къ другой матеріальной частицѣ, и сила ихъ притяженія пропорціональна массамъ частицъ и обратно пропорціональна квадрату ихъ разстоянія.

Это такъ называемый законъ всемірнаго тяготѣнія. Въ математической формѣ онъ представляется формулой

$$F = k\frac{m_1 m_2}{r^2},$$

гдѣ m_1 и m_2 массы частицъ, r — ихъ разстояніе, а k постоянное число. Оно представляетъ силу, съ которою масса, равная единицѣ, притягиваетъ такую же массу, если разстояніе между ними равно единицѣ.

Если назовемъ массу солнца черезъ M, массу планеты черезъ m и разстояніе черезъ r, то сила притяженія планеты солнцемъ будетъ

$$F = k\frac{Mm}{r^2}$$ (рис. 127)

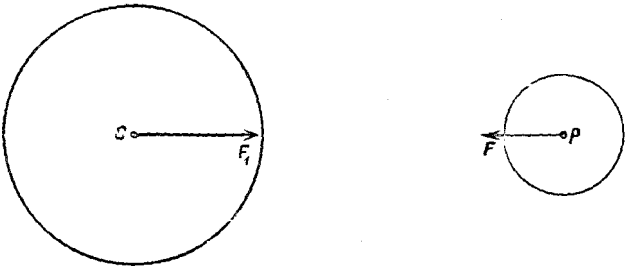


Рис. 127.

Но и сила притяженія солнца планетой будетъ такая же:

$$F_1 = k\frac{Mm}{r^2}$$

Силы F и F_1 равны, но дѣйствія, которыя онѣ производятъ, не будутъ одинаковы.

F дѣйствуетъ на планету, имѣющую массу малую, а потому и ускореніе, которое она вызываетъ, будетъ большое. Наоборотъ F_1 дѣйствуетъ на солнце, имѣющее большую массу, и ускореніе, которое она сообщаетъ солнцу, будетъ ничтожно. Назовемъ ускореніе планеты черезъ g, а ускореніе солнца черезъ G.

По второй аксіомѣ Ньютона вообще сила равняется массѣ, на которую она дѣйствуетъ, умноженной на ускореніе ($P = mg$)

Поэтому

$$F = mg,$$

$$\text{и такъ какъ } F = k\frac{M}{r^2}m,$$

$$\text{то, слѣдовательно, } g = k\frac{M}{r^2}$$

Точно такъ же

$$F_1 = MG$$

$$F_1 = \frac{km}{r^2}M$$

$$\text{и } G = \frac{km}{r^2}$$

Такъ какъ m очень мало сравнительно съ M, то смѣщеніе, которое вызываетъ планета въ положеніи солнца, ничтожно (G—мало).

Планета и солнце движутся около общаго центра тяжести. Только солнце описываетъ очень малый эллипсъ, а планета—большой, какъ имѣемъ на рис. 128

Если имѣть въ виду движеніе планеты относительно солнца, то послѣднее надо принять неподвижнымъ. Откладывая всякій разъ отъ одной и той же точки, въ которой предполагаемъ солнце, сумму

стояній OM и Om, т. е. $OM_1 + Om_1$, $OM_2 + Om_2$ и т. д., получимъ также эллипсъ, который представитъ относительную орбиту планеты, при чемъ, конечно, солнце будетъ въ фокусѣ этого эллипса.

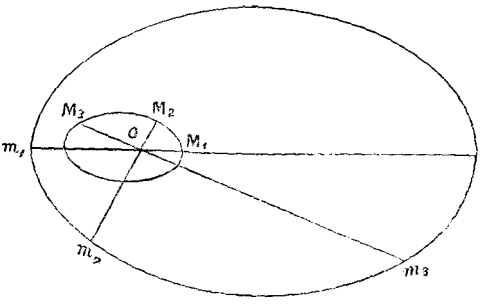


Рис. 128.

То же самое мы должны сказать и о движеніи луны около земли. Оба эти тѣла движутся около общаго центра тяжести, но смѣщеніе земли во столько разъ меньше, чѣмъ луны, во сколько масса луны меньше массы земли. Путь, который описываетъ луна вокругъ земли, принимаемой за неподвижную, называется относительной орбитой луны.

Законы Кеплера есть слѣдствіе закона Ньютона.—Съ помощью третьяго закона Кеплера Ньютонъ выяснилъ, какъ измѣняется сила притяженія солнца, которое, по его мнѣнію, должно управлять движеніемъ планетъ.

Обратно, если принять впередъ законъ Ньютона, то можно вычисленіями показать, что планеты должны двигаться около солнца такъ, что квадраты временъ обращенія относятся, какъ кубы ихъ среднихъ разстояній.

Ньютонъ показалъ, что и другіе два закона Кеплера необходимо вытекаютъ, какъ слѣдствіе, изъ закона всемірнаго тяготѣнія.

Если планета движется подъ дѣйствіемъ притяженія солнца, то она пойдетъ по эллипсу, въ одномъ изъ фокусовъ котораго находится солнце, и площади, описываемыя радіусомъ-векторомъ планеты, пропорціональны при этомъ временамъ.

Въ относительномъ движеніи планеты около солнца, принимаемаго за неподвижное, ускореніе

$$K_1 = g_1 + G_1 = \frac{k^2}{r_1^2}(M + m_1)$$ (стр. 96)

Ускореніе другой планеты

$$K_2 = g_2 + G_2 = \frac{k_2}{r_2^2}(M + m_2)$$

такъ что

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{r_2^2(M + m_1)}{r_1^2(M + m_2)}$$

Но на основаніи теоремы Гюйгенса мы имѣемъ (стр. 93)

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{t_2^2}{t_1^2} \cdot \frac{r_1}{r_2}$$

Слѣдовательно,

$$\frac{r_1^3}{r_2^3} = \frac{t_1^2}{t_2^2} \cdot \frac{M + m_1}{M + m_2}$$

Это третій законъ Кеплера въ исправленномъ видѣ.

Такъ какъ массы планетъ сравнительно съ массой солнца очень малы, то, пренебрегая величинами m_1 и m_2 сравнительно съ M, можемъ имѣть

$$\frac{r_1^3}{r_2^3} = \frac{Mt_1^2}{Mt_2^2}$$

или

$$\frac{r_1^3}{r_2^3} = \frac{t_1^2}{t_2^2},$$

т. е. выраженіе закона въ томъ видѣ, въ какомъ данъ онъ самимъ Кеплеромъ.

Понятіе о возмущеніяхъ.—На каждую планету оказываетъ притяженіе не только солнце, но также и другія планеты. Только дѣйствія послѣднихъ очень малы вслѣдствіе того, что массы ихъ сравнительно съ массой солнца незначительны (см. таблицу планетъ въ концѣ книги). Поэтому изслѣдуется движеніе планеты по эллипсу около солнца, а вліяніе планетъ усчитывается на основаніи закона всемірнаго тяготѣнія, какъ отклоненія отъ этого эллипса. Эти отклоненія называются возмущеніями.

Въ настоящее время, когда умѣютъ вычислять эти возмущенія, положенія планетъ, даже предвычисленныя впередъ, чрезвычайно хорошо согласуются съ тѣми, которыя даютъ непосредственныя точныя наблюденія.

И это согласіе является наглядным, неоспоримымъ доказательствомъ справедливости закона Ньютона, которое заставило умолкнуть всѣ нападки, поднимавшіяся сначала противъ него.

Открытіе Нептуна.—Блестящимъ торжествомъ для этого великаго закона явилось открытіе планеты Нептуна путемъ вычисленія.

Кромѣ планетъ, которыя были извѣстны еще въ древности: Меркурія, Венеры, Марса, Юпитера и Сатурна, мы знаемъ теперь еще Урана, Нептуна и около 800 такъ называемыхъ малыхъ планетъ.

Всѣ малыя планеты—на видъ очень слабыя звѣздочки, отличающіяся отъ неподвижныхъ звѣздъ только своими перемѣщеніями на небѣ. Орбиты ихъ располагаются между орбитами Марса и Юпитера. Первая изъ нихъ была найдена 1-го января 1801 года.

Урана открылъ Гершель въ 1781 г. Эта планета удалена отъ солнца вдвое дальше, чѣмъ Сатурнъ, время его оборота около солнца 84 г. Но съ теченіемъ времени, къ удивленію астрономовъ, положенія Урана стали все больше и больше отличаться отъ тѣхъ, которыя опредѣлялись впередъ по таблицамъ, вычисленнымъ на основаніи первыхъ наблюденій. Никакія исправленія таблицъ не помогали. Въ 1826 году расхожденія достигли наибольшаго значенія. Тогда явилось подозрѣніе, что планета уклоняется отъ своего пути подъ вліяніемъ другой планеты, еще неизвѣстной.

Но гдѣ находится эта неизвѣстная планета: въ какомъ направленіи она въ данное время, на какомъ она разстояніи отъ солнца, какова ея масса и пр.?

Эту задачу рѣшили независимо другъ отъ друга два астронома: въ Англіи—Адамсъ и во Франціи—Леверье.

Послѣдній написалъ письмо астроному Галле въ Берлинъ, гдѣ имѣлись уже карты мелкихъ звѣздъ, и въ ту же ночь, какъ Галле получилъ письмо, онъ отыскалъ на небѣ звѣзду 8-ой величины, которой не было на картѣ. Она несомнѣнно имѣла собственное движеніе между звѣздами. Впослѣдствіи планета была названа Нептуномъ. Она движется вокругъ солнца въ 165 лѣтъ на разстояніи въ 30 разъ большемъ, чѣмъ разстояніе земли отъ солнца.

На дворѣ Парижской обсерваторіи поставленъ Леверье памятникъ. Ученый представленъ рядомъ съ небеснымъ глобусомъ. Онъ указываетъ то мѣсто на небѣ, гдѣ по его вычисленіямъ должна находиться въ данный моментъ неизвѣстная планета (рис. 129).

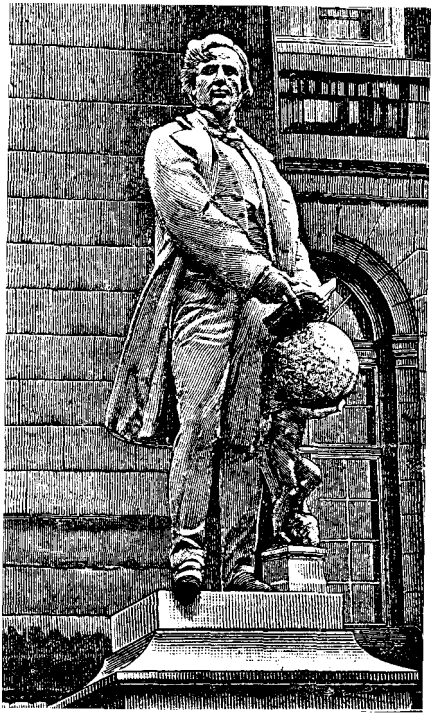


Рис. 129.—Памятникъ Леверье на дворѣ Парижской обсерваторіи

Опредѣленіе массъ планетъ. Чтобы усчитать возмущающее вліяніе планетъ, надо знать ихъ массы. Еще самъ Ньютонъ показалъ, какъ это можно сдѣлать.

Если планета имѣетъ спутника, то движеніе послѣдняго около планеты обусловливается притяженіемъ этой планеты, какъ движеніе луны обусловливается притяженіемъ земли.

Пусть масса одной планеты m_1, разстояніе ея спутника r_1, время его обращенія t_1.

Тогда центростремительное ускореніе въ движеніи спутника, которое можно вполнѣ удовлетворительно считать круговымъ, будетъ съ одной стороны

$\frac{4\pi^2 r_1}{t_1^2}$ (по теоремѣ Гюйгенса, стр. 93),

съ другой стороны

$k\frac{m_1}{r_1^2}$ (по закону тяготѣнія, стр. 95)

Слѣдовательно, $\frac{4\pi^2 r_1}{t_1^2} = k\frac{m_1}{r_1^2}$

Точно такъ же для другой планеты, у которой масса– m_2, разстояніе спутника — r_2, время его обращенія $-t_2$:

$$\frac{4\pi^2 r_2}{t_2^2} = k\frac{m_2}{r_2^2}.$$

Раздѣляя эти два равенства одно на другое, будемъ имѣть

$$\frac{r_1 t_2^2}{r_2 t_1^2} = \frac{m_1}{m_2}\cdot\frac{r_2^2}{r_1^2},$$

откуда отношеніе массъ планетъ

$$\frac{m_1}{m_2} = \left(\frac{r_1}{r_2}\right)^3\left(\frac{t_2}{t_1}\right)^2$$

Сравнимъ для примѣра движеніе луны около земли и движеніе перваго спутника Юпитера:

m_1 = масса Юпитера
$t_1 = 1{,}7691$ сут. } спутникъ Юпит.
$r_1 = 420000$ клм. }

m_2 = масса земли
$t_2 = 27{,}3217$ сут. }
$r_2 = 384400$ клм. } луна.

$$\frac{m_1}{m_2} = \left(\frac{420000}{384400}\right)^3\left(\frac{27{,}3217}{1{,}7691}\right)^2$$

$3lg420000$	$= 16{,}86975$	$3lg384400$	$= 16{,}75434$
$2lg27{,}3217$	$= 2{,}87302$	$2lg1{,}7691$	$= 0{,}49550$
lg числит.	$= 19{,}74277$	lg знамен.	$= 17{,}24984$

$$lg\frac{m_1}{m_2} = 2{,}49293$$

такъ что приблизительно

$$\frac{m_1}{m_2} = 310,$$

т. е. масса Юпитера оказывается въ 310 разъ больше массы земли

Массу солнца можно вычислить, сравнивая движеніе земли около солнца съ движеніемъ луны около земли.

M = масса солнца
$T = 365{,}256$ сут. (сидер. обр.). } земля
$R = 149500000$ клм. }

m = масса земли
$t = 27{,}3217$ сут. }
$r = 384400$ клм. } луна

$$\frac{M}{m} = \left(\frac{149500000}{384400}\right)^3\left(\frac{27{,}3217}{365{,}256}\right)^2$$

$3lg149500000$	$= 24{,}52392$	$3lg384400$	$= 16{,}75434$
$2lg27{,}3217$	$= 2{,}87302$	$2lg365{,}256$	$= 5{,}12520$
lg числит.	$= 27{,}39694$	lg знамен.	$= 21{,}87954$

$$lg\frac{M}{m} = 5{,}51740.$$

Отсюда приблизительно

$$\frac{M}{m} = 329000,$$

т. е. **масса солнца въ 329000 разъ больше массы земли**

Массы Меркурія и Венеры не могутъ быть опредѣлены такимъ образомъ потому, что эти планеты не имѣютъ спутниковъ. Но тѣ возмущенія, которыя оказываютъ онѣ на движеніе другихъ небесныхъ тѣлъ, проходящихъ близко къ нимъ, позволяютъ оцѣнить ихъ массы.

Плотность земли — не только знаемъ теперь отношенія массъ солнца и планетъ къ массѣ земли, но можемъ вычислить и массу самой земли, а такъ какъ объемъ земли извѣстенъ, то будемъ знать и плотность земли.

Для этого надо сравнить притяженіе земли съ притяженіемъ массы, оцѣнить которую мы въ состояніи.

Оказывается, что вблизи горъ отвѣсная линія измѣняетъ свое направленіе вслѣдствіе притяженія горныхъ массивовъ.

Будемъ наблюдать зенитное разстояніе во время кульминаціи одной и той же звѣзды въ двухъ пунктахъ a и b, находящихся на одномъ меридіанѣ, но по разную сторону горы (рис. 130). Разность зенитныхъ разстояній будетъ равна углу между отвѣсными линіями въ этихъ пунктахъ. Если бы не было отклоненія отвѣса, то этотъ уголъ былъ бы равенъ разности географическихъ широтъ точекъ a и b, которую можно вычислить, зная длину дуги ab. Но въ опытахъ, которые произвели Маскелейнъ и Гуттонъ въ 1772 году, уголъ между отвѣсными линіями вмѣсто 41″, оказался 53″, т. е. на 12″ больше. Эта разность и происходитъ отъ притяженія горы. Можно разсчитать, во сколько разъ это притяженіе меньше притяженія земного шара. А такъ какъ приближенно можно вычислить объемъ горы и, зная, изъ какихъ породъ она состоитъ, найти массу ея, то мы получаемъ, слѣдовательно, массу всей земли.

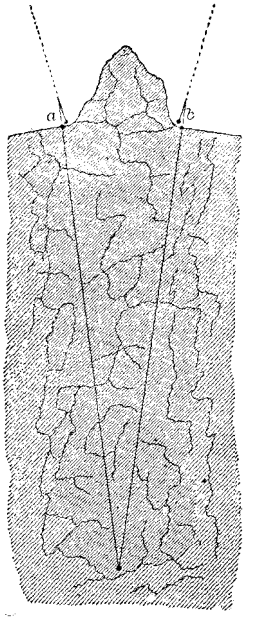


Рис. 130.

Маскелейнъ нашелъ такимъ образомъ, что средняя плотность земли по отношенію къ водѣ = 4,7.

Можно сравнить притяженіе земли съ притяженіемъ массивныхъ шаровъ. Въ первоначальномъ опытѣ Кавендиша было два шара f и g на рычагѣ cd (рис. 131). Когда къ шару f подносили массивный шаръ h, онъ притягивался, и рычагъ начиналъ качаться.

По качанію рычага можно судить о силѣ, вызывающей это качаніе, какъ по качанію маятника мы судимъ о силѣ тяжести.

Эти, а также и другіе опыты даютъ для плотности земли число **5,5**

Задача Среднее разстояніе спутника Деймоса отъ Марса равно 233000 килом., его сидерическое обращеніе –1,2624 сут. Опредѣлить массу Марса по отношенію къ землѣ. **Отв.**—0,1

Задача 2. Среднее разстояніе Нептуна отъ солнца 4493000000 клм. его сидерическое время обращенія 60181 сутокъ. Среднее разстояніе спутника Нептуна отъ планеты 353000 клм., его сидерическое время обращенія 5,8768 сут. Опредѣлить массу Нептуна по отношенію къ солнцу.—**Отв.** Масса солнца больше массы Нептуна, приблизительно, въ 19540 разъ.

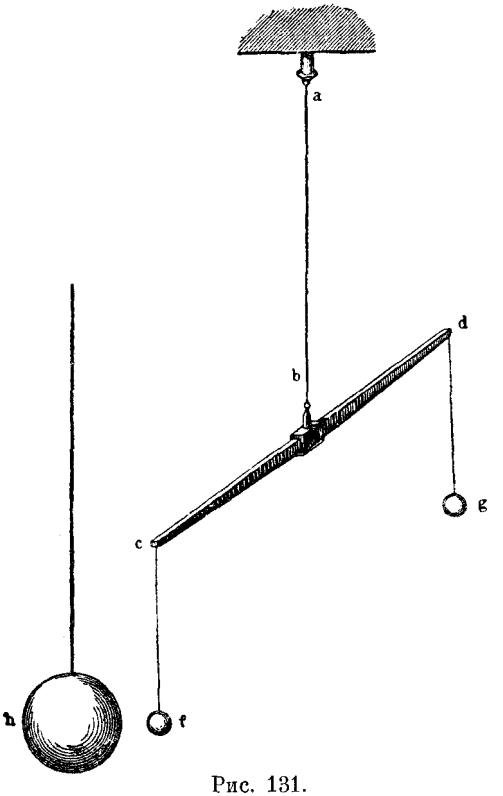


Рис. 131.

Приливы и отливы. На морскомъ побережьѣ, особенно на берегахъ океана, наблюдаются періодическіе приливы и отливы воды. Въ среднемъ 6 час. 12 м. продолжается приливъ (рис. 132), вода высоко поднимается и заливаетъ берегъ, потомъ въ теченіе 6 час. 12 мин. вода отливаетъ (рис. 133), уходя далеко въ море и оставляя на берегу различные „дары моря“ Такимъ образомъ, въ теченіе сутокъ бываетъ два подъема воды в морѣ, слѣдующіе другъ з другомъ черезъ 1 час. 25 мин., и дв паденія уровня с тѣмъ же періодомъ Такъ какъ промежу токъ между послѣ довательными про хожденіями луны въ верхней и нижней кульминаціяхъ равняется тоже 12 час 25 мин., то сразу чувствуется, что на приливы оказываетъ вліяніе луна.

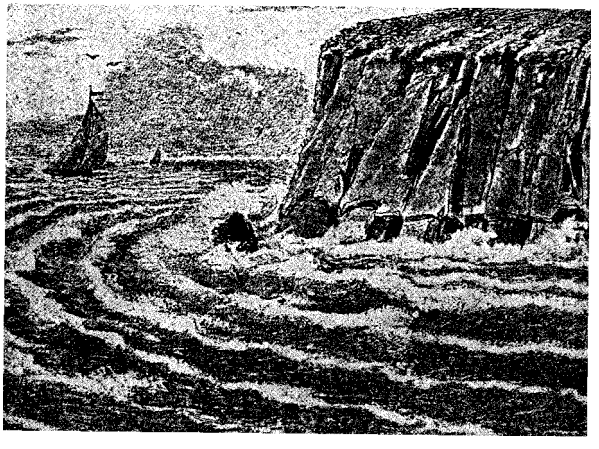


Рис. 132. Приливъ.

Подозрѣніе, что между явленіями приливовъ и движеніемъ луны есть связь, существовало еще въ древности, но никто до Ньютона не могъ объяснить

этой связи. Для Ньютона объясненіе явилось непосредственнымъ слѣдствіемъ открытаго имъ закона всемірнаго тяготѣнія.

Рис. 133 Отливъ

Какъ земля своимъ притяженіемъ заставляетъ кружить вокругъ себя луну, такъ и обратно луна притягиваетъ землю. При этомъ, конечно, тѣ части земного шара, которыя ближе къ лунѣ, притягиваются сильнѣе получаютъ бо́льшее ускореніе. Пусть подъ притяженіемъ луны L (рис. 134) центръ земли c перемѣщается на c_1c_2. Тогда точка a, если она удобоподвижна, перемѣщается на a_1a_2, при чемъ a_1a_2 будетъ больше чѣмъ c_1c_2. А перемѣщеніе точки b будетъ b_1b_2 меньше, чѣмъ c_1c_2. Такимъ образомъ, на водной поверхности земли поднимаются двѣ волны прилива, одна на той сторонѣ, которая обращена къ лунѣ (точка a), другая на противоположной (точка b) Въ пунктахъ же, отстоящихъ на 90°, будетъ пониженіе уровня -отливъ (въ точкахъ d и e)

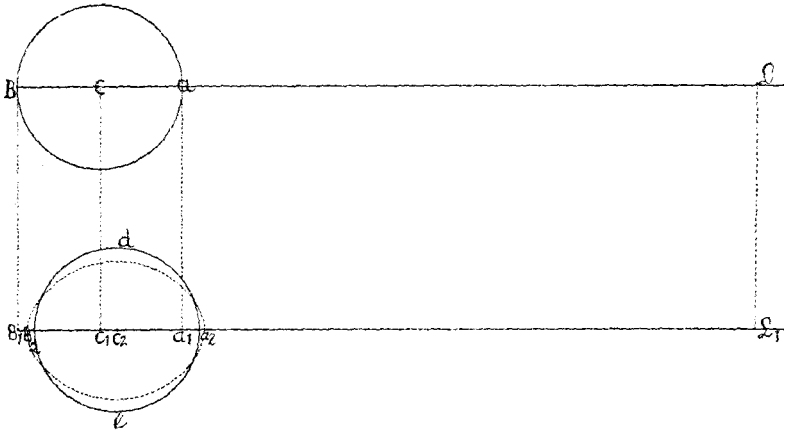


Рис. 134.

Вслѣдствіе вращенія земли волна прилива, которая стремится остаться въ одномъ меридіанѣ съ луной, должна обтекать землю въ направленіи, обратномъ ея вращенію.

Такъ же, какъ луна, дѣйствуетъ и солнце, но, вслѣдствіе громаднаго разстоянія солнца, вліяніе его, несмотря на огромную его массу, въ 2,2 раза меньше луннаго. Солнечный приливъ отдѣльно не наблюдается, онъ только видоизмѣняетъ лунный приливъ. Когда солнце и луна на одномъ меридіанѣ (полнолуніе и новолуніе), волны солнечнаго прилива и луннаго слагаются, получается наибольшій подъемъ воды; при первой и послѣдней четверти солнечный приливъ совпадаетъ съ луннымъ отливомъ.

На величину прилива оказываютъ вліяніе положенія свѣтилъ на небѣ относительно экватора, ихъ разстояніе отъ земли, возмущеніе въ движеніи луны, глубина океана и различныя мѣстныя условія берега. Въ открытомъ океанѣ приливы малы. На островахъ св. Елены, Вознесенья и Сандвичевыхъ они не достигаютъ метра. Наоборотъ, у береговъ континентовъ они гораздо больше: 4—5 метр. Въ закрытыхъ бухтахъ достигаютъ громадной высоты—21 метра.

Приливная волна отстаетъ отъ луны въ ея видимомъ суточномъ движеніи, и промежутокъ времени между прохожденіями луны черезъ меридіанъ и приливомъ непостояненъ. Величина его для приливовъ, близкихъ къ полнолунію или новолунію, называется прикладнымъ часомъ. Часто въ двухъ близкихъ пунктахъ прикладные часы весьма различны.

Прецессія.—Сидерическое обращеніе земли = 365,265 дн. Но еще Гиппархъ за 150 лѣтъ до Р. Хр. замѣтилъ, что солнце приходитъ въ точку весенняго равноденствія раньше, чѣмъ окончитъ въ своемъ видимомъ движеніи между звѣздами полный кругъ. Такъ называемый тропическій годъ, какъ мы уже говорили =365 дн. 5 час. 48 мин. 46 сек.=365,242 дн. (стр. 33).

Это происходитъ оттого, что точка весенняго равноденствія не сохраняетъ своего мѣста на эклиптикѣ, а перемѣщается навстрѣчу солнцу, вслѣдствіе чего весна наступаетъ нѣсколько раньше. Явленіе это названо Гиппархомъ прецессіей, что значитъ предвареніе. Смѣщеніе точки весенняго равноденствія въ годъ составляетъ 50″. Такимъ образомъ, всю окружность эклиптики она можетъ обойти въ $\frac{360 \cdot 60 \cdot 60}{50}$, т. е. приблизительно въ 26000 лѣтъ.

Въ древности точка весенняго равноденствія находилась въ созвѣздіи Овна.—Отсюда и обозначеніе этой точки знакомъ ♈, напоминающимъ рога барана. Теперь точка весенняго равноденствія значительно отступила назадъ и находится уже въ созвѣздіи Рыбъ (см. карту)

Точка весенняго равноденствія есть точка пересѣченія экватора съ эклиптикой. Очевидно, смѣщеніе этой точки можетъ происходить вслѣдствіе измѣненія положенія плоскости экватора, при которомъ линія пересѣченія экватора съ эклиптикой равномѣрно поворачивается.

Ось міра перпендикулярна экватору. Слѣдовательно, явленіе прецессіи скажется и на положеніи полюса.

Ось міра описываетъ коническую поверхность съ вершиной въ центрѣ земли, а полюсъ описываетъ на небѣ около полюса эклиптики кругъ, радіусъ котораго $23^1/_2{}^0$. (Уголъ между эклиптикой и экваторомъ—углу между перпендикулярами къ этимъ плоскостямъ)

Полный оборотъ по этому кругу полюсъ дѣлаетъ въ 26000 лѣтъ Теперь онъ находится вблизи звѣзды альфы Малой Медвѣдицы. Эта звѣзда называется Полярной. 4000 лѣтъ тому назадъ полюсъ былъ близъ звѣзды альфы Дракона. Чрезъ 12000 лѣтъ Полярной звѣздой будетъ Вега (альфа Лиры).

Ньютонъ могъ объяснить и это загадочное сложное явленіе. Земля имѣетъ форму эллипсоида вращенія. Это шаръ съ придатками массы близъ экватора. Очевидно, что дѣйствіе солнца S на точку m (рис. 135)

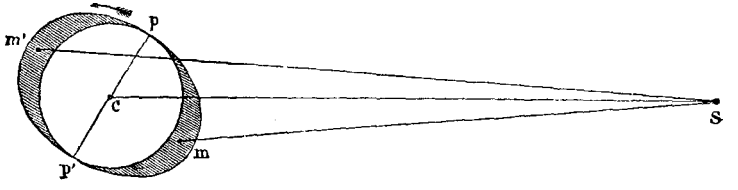


Рис. 135.

будетъ больше, чѣмъ на точку m'. Такимъ образомъ является сила, которая стремится дать землѣ вращеніе по стрѣлкѣ (около оси, лежащей въ эклиптикѣ и перпендикулярной къ линіи CS). Эта сила заставитъ ось земли pp' измѣнить свое положеніе, въ каждый слѣдующій моментъ это вліяніе будетъ повторяться, и въ результатѣ ось земная описываетъ поверхность конуса.

Простой приборъ даетъ понятіе о томъ явленіи, которое мы имѣемъ въ прецессіи, это волчокъ. Пустите его такъ, чтобы ось была вертикальна. Вслѣдствіе быстраго вращенія волчокъ не будетъ падать, и ось долгое время будетъ сохранять свое вертикальное положеніе.

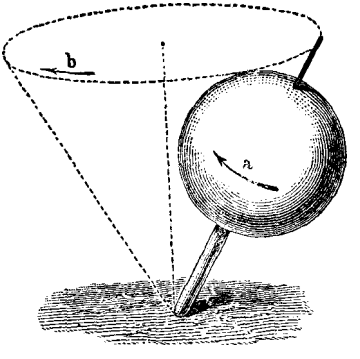


Рис. 136.

Повторите опытъ, но вскорѣ послѣ того, какъ запустите волчокъ, подавите на его массивную часть. Сила давленія заставитъ наклониться ось вращенія волчка, но не въ ту сторону, въ которую вы давите, а впередъ Она вызоветъ движеніе оси коническое (рис. 136) Подобное явленіе мы имѣемъ и въ прецессіи.

На экваторіальные придатки земли дѣйствуетъ не только притяженіе солнца, но также и притяженіе луны.

Прецессія, такимъ образомъ, очень сложное явленіе.

Нутація. Но вліяніе луны изъ года въ годъ мѣняется, такъ какъ положеніе плоскости лунной орбиты непостоянно.

Мы уже упоминали, что линія пересѣченія плоскости лунной орбиты съ плоскостью эклиптики, такъ называемая линія узловъ, перемѣщается, дѣлая полный оборотъ въ $18^1/_2$ лѣтъ (стр. 76). Вслѣдствіе этого вліяніе луны имѣетъ періодическій характеръ съ періодомъ въ $18^1/_2$ лѣтъ, и полюсъ на небѣ описываетъ собственно не окружность, а зигзагообразную линію, при чемъ уклоненія въ ту и другую сторону отъ средняго движенія по кругу продолжаются по 9 лѣтъ (рис. 137). Эти уклоненія полюса названы нутаціей.

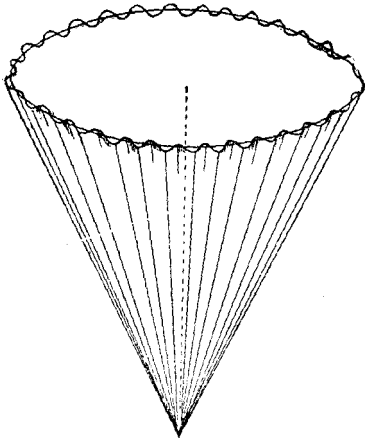


Рис. 137

Явленіе нутаціи было открыто Брадлеемъ (1748 г.) по измѣненію координатъ звѣздъ.

Небесная механика. Ньютономъ было положено начало наукѣ, которая называется теперь „Небесной механикой“ Она въ подробностяхъ объясняетъ и усчитываетъ всѣ сложныя движенія небесныхъ тѣлъ и ихъ вліянія другъ на друга. Заслуги Ньютона, независимо даже отъ его другихъ открытій въ области физики и математики, въ этомъ отношеніи громадны. Человѣчество поняло это своевременно.

Рис. 138. Домъ, въ которомъ родился Ньютонъ.

Родился Ньютонъ на скромной фермѣ (рис. 138). Похороненъ почти съ царской пышностью въ Вестминстерскомъ аббатствѣ въ Лондонѣ

Глава XX **Солнечная система**

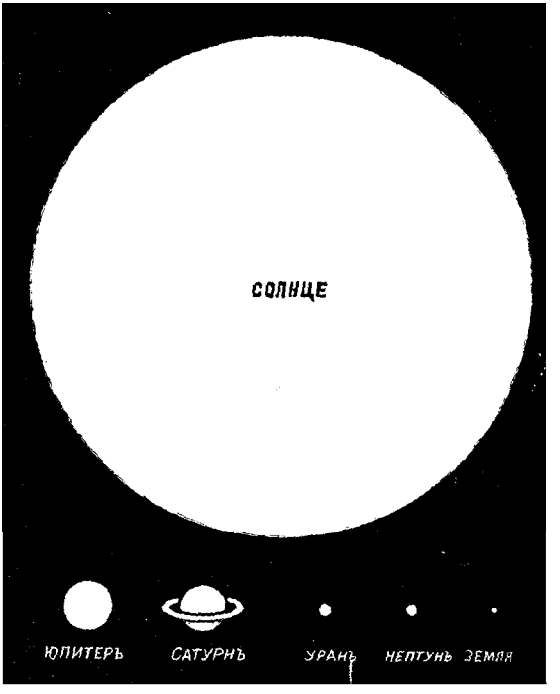
Солнце центральное тѣло цѣлой системы тѣлъ. Вокругъ него движутся 8 большихъ планетъ: Меркурій, Венера, Земля, Марсъ Юпитеръ, Сатурнъ, Уранъ, Нептунъ, около 800 малыхъ планетъ между Марсомъ и Юпитеромъ, и нѣсколько кометъ, орбиты которыхъ

отличаются отъ планетныхъ орбитъ гораздо большей вытянутостью. Другія кометы заходятъ въ нее на короткое время: по одной вѣтви параболы (см. гл. XXIII) комета приходитъ изъ безконечнаго пространства, по другой опять удаляется.

Около нѣкоторыхъ изъ большихъ планетъ ходятъ спутники образуя самостоятельныя, но меньшія по размѣрамъ системы. Насколько намъ извѣстно въ данное время

Земля имѣетъ одного спутника,

у Марса ихъ — два,
„ Юпитера — девять,
„ Сатурна — десять,
„ Урана — четыре,
„ Нептуна — одинъ



Солнце значительно превосходитъ всѣ остальныя тѣла своими размѣрами. Въ сравненіи съ нимъ и могучій Юпитеръ и Сатурнъ, какъ видимъ на рис. 139, тѣла малыя. Еще меньше Нептунъ и Уранъ. Земля незначительный кружочекъ Такова же Венера. Марсъ и Меркурій исчезающія на чертежѣ точки.

Громадна и масса солнца. Если мы примемъ ее за 1.000.000.000, то

масса	Меркурія	будетъ	имѣть	170	такихъ	единицъ
„	Марса	„	„	323	„	„
„	Венеры	„	„	2450	„	„
„	Земли	„	„	3037	„	„
„	Урана	„	„	43950	„	„
„	Нептуна	„	„	51180	„	„
„	Сатурна	„	„	285550	„	„
„	Юпитера	„	„	955100	„	„
„	Солнца	„	„	1000000000	„	„

Даже всѣ планеты вмѣстѣ составляютъ только $\frac{1}{700}$ массы солнца.

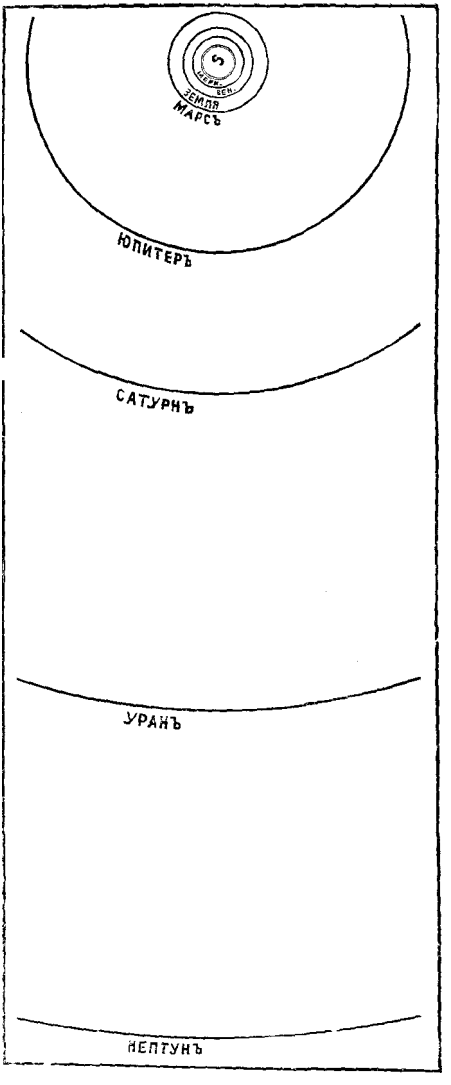


Рис. 140

Попробуйте составить планъ солнечной системы. Возьмемъ, напримѣръ, для разстоянія земли отъ солнца 1 дециметръ = 10 сант. Тогда Меркурія надо будетъ поставить на разстояніи 4 сант. отъ центра, Венеру на разстояніи 7 сант., Марса 15 сант., малыя планеты 21 43 сант., Юпитера 52 сант., Сатурна—95, т. е. почти метръ, Урана на разстояніи 192 сант., Нептуна на разстояніи 300 сант., т. е. трехъ метровъ, или почти $1^1/_2$ сажени (рис. 140).

Задача. Сколько времени идетъ свѣтъ до земли отъ луны, солнца, Нептуна?

Отв. $-1^1/_4$ сек.; $8^1/_3$ мин., 4 часа.

Солнце своимъ притяженіемъ опредѣляетъ движеніе планетъ. Оно же согрѣваетъ ихъ своимъ теплomъ и освѣщаетъ своимъ яркимъ свѣтомъ. Но, конечно, значеніе солнца въ этомъ отношеніи для планетъ чрезвычайно различно вслѣдствіе различныхъ разстояній. Чѣмъ дальше планета, тѣмъ меньше она получаетъ отъ солнца свѣта и тепла. Освѣщеніе и нагрѣваніе обратно пропорціональны квадрату разстоянія. Законъ тотъ же, что и для силы притяженія.

Вслѣдствіе этого на Меркуріи интенсивность солнечныхъ лучей въ $6^1/_4$ раза больше, чѣмъ на землѣ,

на Венерѣ	въ	2	раза	больше
„ Марсѣ	„	$2^1/_4$	раза	меньше
„ Юпитерѣ	„	27	разъ	„
„ Сатурнѣ	„	90	„	„
„ Уранѣ	„	368	„	„
„ Нептунѣ	„	900	„	„

Провѣрить непосредственными вычисленіями, взявши приведенныя выше приближенныя значенія разстояній планетъ отъ солнца

Такимъ образомъ, Нептунъ получаетъ лишь ничтожную часть того тепла, которое мы имѣемъ на землѣ.

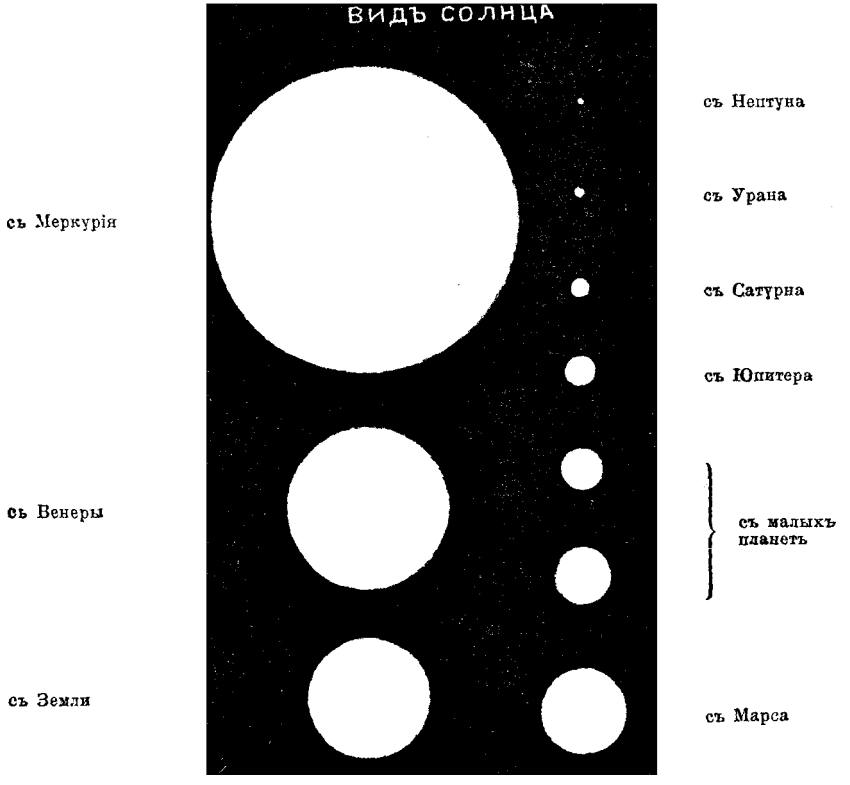


Рис 141

Въ то же время и видимые размѣры солнца съ различныхъ планетъ различны, какъ даетъ рис. 141

Глава XXI **Солнце**

Несмотря на громадное разстояніе отъ земли (149 500 000 кил.) солнце усматривается нами подъ угломъ въ 32′

Отсюда мы вычисляемъ, что дѣйствительный діаметръ его в 109 разъ приблизительно больше діаметра земли (стр. 64)

Объемъ солнца въ 1300000 разъ больше объема земли

Но масса солнца больше массы земли только въ 329000 разъ.

Слѣдовательно, средняя плотность солнца составляетъ всего $^1/_4$ средней плотности земли, т. е. немного больше плотности воды вотъ первый результатъ, указывающій на то, что солнце не такое уплотненное тѣло, какъ земля

Вращеніе солнца На блестящей поверхности солнца еще Галилей, направившій впервые изобрѣтенную имъ трубу на небо замѣтилъ пятна (рис. 142) Эти пятна не сохраняютъ своего положенія на дискѣ, и по смѣщенію ихъ можно судить о вращеніи солнца.

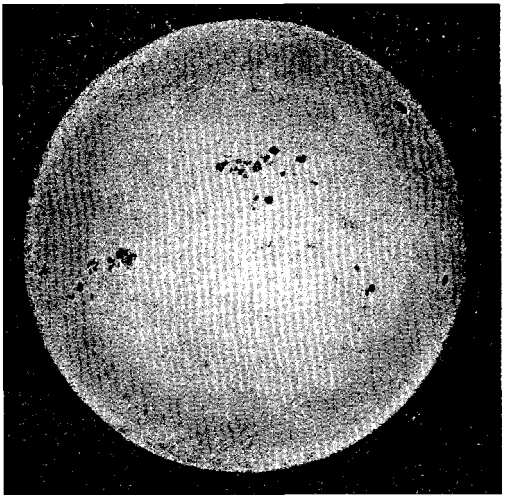


Рис. 142 Пятна на солнечной поверхности.

Время вращенія солнца 25 дней

Но это только на экваторѣ. Если взять точку на солнечной поверхности по направленію отъ экватора къ сѣверному или южному полюсу то для нея время вращенія окажется больше: 26 дней, 27, 28. Чѣмъ ближе къ полюсу, тѣмъ больше. Такимъ образомъ, солнце вращается не какъ одно цѣлое, а поясами: экваторіальный поясъ быстрѣе всего, ближе къ полюсамъ медленнѣе. Вотъ еще подтвержденіе, что солнце не твердое тѣло

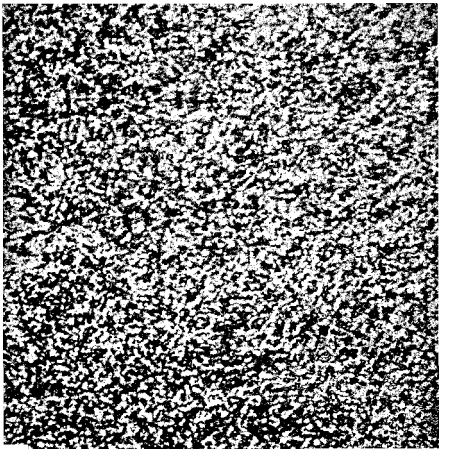


Рис. 143 Грануляція солнечной поверхности по фотографіи

Грануляція. При наблюденіи въ хорошую трубу ослѣпительно блестящая поверхность солнца, такъ называемая фотосфера, кажется рябоватой какъ бы въ молокѣ плавають разбухшія зерна риса. Этотъ зернистый видъ поверхности солнца называется грануляціей (рис. 143)

Пятна и факелы По временамъ среди однообразной зернистой поверхности образуются гигантскіе вихри, представляющіеся намъ въ видѣ большихъ или меньшихъ пятенъ: темное ядро внутри, такъ называемая тѣнь, и сѣрая кайма вокругъ полутѣнь (рис. 144)

По размѣрамъ пятна бываютъ иногда очень большія, разъ въ 100 даже болѣе превосходящія поверхность всего земного шара. Въ такъ случаяхъ пятно можетъ быть замѣчено даже безъ трубы, если смотрѣть на солнце просто глазомъ черезъ закопченное стекло

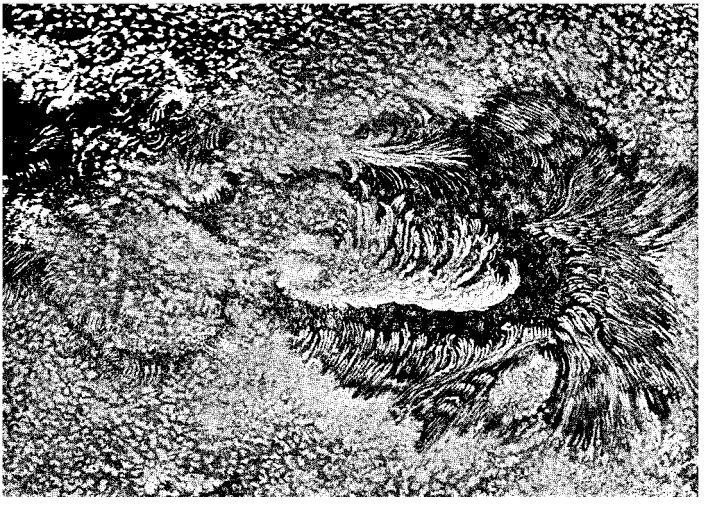


Рис. 144. Солнечное пятно

Пятна по большей части являются группами Иногда въ одной группѣ нѣсколько сотъ мелкихъ пятенъ

Около пятенъ, а иногда отдѣльно на солнечномъ дискѣ близъ краевъ видны свѣтлые червячки такъ называемые факелы. Это приподнятыя части блестящей фотосферы

Періодичность солнечныхъ пятенъ и факеловъ Весьма загадочно и интересно явленіе періодичности солнечныхъ пятенъ. Въ нѣкоторые годы дискъ солнца совершенно чистъ, потомъ на немъ начинаютъ появляться пятна все чаще и чаще, общее число ихъ за годъ постепенно возрастаетъ, наступаетъ максимумъ, вслѣдъ за которымъ пятнообразовательная дѣятельность солнца ослабѣваетъ, число пятенъ отъ года къ году уменьшается, и вновь наступаетъ время, когда на дискѣ совсѣмъ не появляется пятенъ. Отъ минимума до максимума въ среднемъ проходитъ $4^1/_2$ года, отъ максимума до минимума $6^1/_2$ лѣтъ. Цѣлый періодъ 11 лѣтъ

Тотъ же періодъ и для факеловъ

Замѣчено, что въ годы максимума солнечныхъ пятенъ на землѣ чаще наблюдаются полярныя сіянія и такъ называемыя магнитныя бури, когда магнитная стрѣлка не слѣдуетъ нормальнымъ суточнымъ уклоненіямъ отъ своего средняго положенія а обнаруживаетъ рѣзкія и значительныя колебанія.

Послѣдній минимумъ солнечныхъ пятенъ былъ въ 1911 г.

Атмосфера солнца Солнце окружено атмосферой, о составѣ которой можно судить по темнымъ линіямъ въ спектрѣ солнца. Оказывается, въ ней плаваютъ пары натрія, магнія, желѣза, никкеля и многихъ другихъ веществъ.

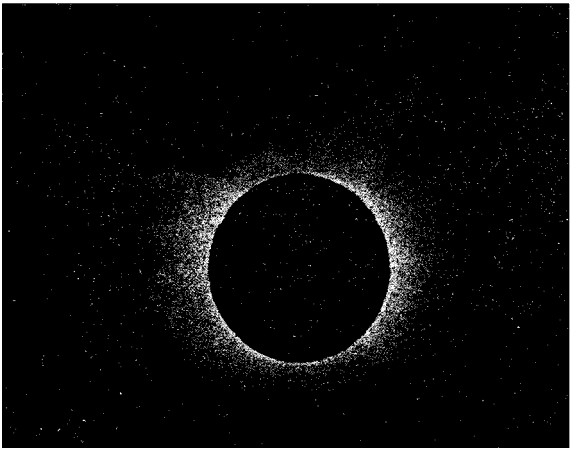


Рис. 145 Солнечная корона во время полнаго затменія 1896 года. По фотографіи пулковскаго астронома Костинскаго

Солнечная корона. Верхніе слои атмосферы состоятъ изъ очень разрѣженнаго вещества, распространяющагося широкимъ кольцомъ вокругъ солнца. Когда солнечный дискъ закрытъ во время полнаго затменія луною, мы видимъ это кольцо въ видѣ блестящаго серебристаго вѣнца съ лучами —это такъ называемая солнечная корона (рис 115 и 145)

Солнечная корона не представляетъ собой постояннаго образованія, и внѣшній видъ ея мѣняется.

Во время тѣхъ затменій, которыя случаются въ годы максимумовъ солнечныхъ пятенъ, корона равномѣрно охватываетъ солнце, въ годы минимумовъ она вытягивается по экватору, а у полюсовъ замѣчаются лишь короткія истеченія.

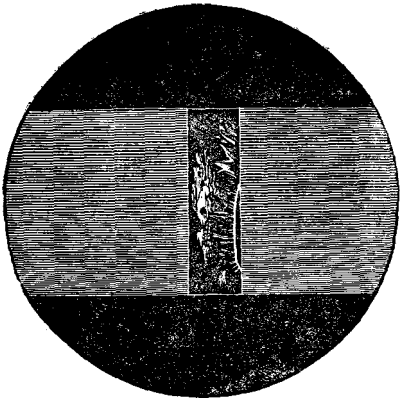


Рис. 146 Протуберансъ въ щели спектроскопа. (Одно изъ нѣсколькихъ изображеній)

Протуберансы Съ самой поверхности солнца поднимаются въ корону пурпуровые выступы, иначе протуберансы. Прежде наблюдались эти выступы только во время полныхъ затменій. Теперь научились видѣть и даже фотографировать ихъ и безъ затменія, при полномъ солнечномъ блескѣ. Для этого нуженъ спектроскопъ съ большимъ свѣторазсѣяніемъ (рис. 146).

Протуберансы представляютъ собой по преимуществу массы накаленнаго водорода. Они являются въ разнообразныхъ и часто быстро

измѣняющихся формахъ (рис. 147, 148, 149). Число ихъ на солнцѣ тоже измѣняется періодически, какъ число пятенъ и факеловъ. Продолжительность періода также 11 лѣтъ.

Температура солнца Температуры солнца до сихъ поръ не могли опредѣлить точно, но разъ мы знаемъ, что на солнцѣ находятся пары тяжелыхъ металловъ, то мы естественно должны принять, что она составляетъ нѣсколько тысячъ градусовъ. Сложныя соображенія заставляютъ ученыхъ считать наиболѣе вѣроятнымъ числомъ $7000^{0}C$.

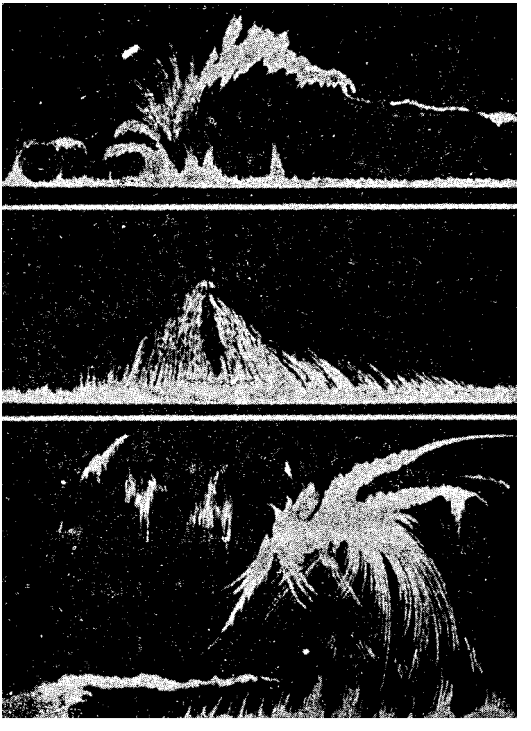


Рис. 147, 148, 149. Различные виды протуберансовъ.

Солнечная энергія Найдено, что на землѣ каждый квадратный сантиметръ плоскости, перпендикулярной солнечнымъ лучамъ, получаетъ три малыхъ калоріи въ минуту

Соображая, какъ велика вся поверхность земли, мы должны оцѣнить энергію солнца, получаемую землей, громаднымъ числомъ; но то, что получаетъ земля, есть ничтожная часть $\left(\frac{1}{22.000.000.000}\right)$ всего запаса энергіи солнца, излучаемой имъ во всѣ стороны въ пространство.

Какъ великъ весь этотъ запасъ, мы не можемъ сказать. Не можемъ и объяснить, откуда онъ получается, почему мы не замѣчаемъ его убыли, на какое время его хватитъ.

Возможно, какъ предположилъ Гельмгольцъ, что солнце, охлаждаясь вслѣдствіе лучеиспусканія, сокращается въ объемѣ, а результатомъ сжатія является развитіе новаго количества тепла

Глава XXII **Планеты и спутники ихъ. Зодіакальный свѣтъ**

Меркурій ближайшая къ солнцу и самая малая изъ восьми большихъ планетъ

Его среднее разстояніе отъ солнца около 0,4 разстоянія земли отъ солнца. Діаметръ приблизительно $^1/_3$ земного, объемъ около $^1/_{20}$ объема земли, масса всего $^1/_{6000000}$ массы солнца.

На поверхности планеты почти ничего не видно.

Повидимому Меркурій всегда обращенъ къ солнцу одной стороной. Такимъ образомъ, на этой сторонѣ господствуетъ вѣчный день и страшный жаръ, на противоположной –вѣчная ночь и холодъ. Атмосферы около Меркурія незамѣтно.

Венера -вторая по разстоянію отъ солнца планета (0,7 разст земли отъ солнца). По величинѣ она почти равна землѣ, ея масса лишь немного меньше земной, но то состояніе, въ какомъ находится Венера, повидимому, совершенно отличается отъ того, въ какомъ находится земля. Венера окутана густой атмосферой. Атмосфера эта отражаетъ очень много солнечныхъ лучей.

Этимъ и объясняется исключительная яркость планеты. Но благодаря атмосферѣ на поверхности Венеры мы ничего не можемъ разглядѣть и не знаемъ, какъ она вращается.

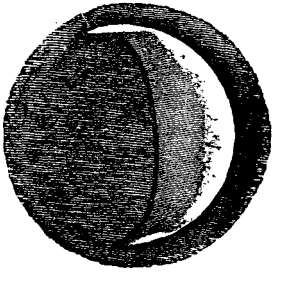


Рис. 150. Видъ Венеры въ трубу. Кромѣ яркаго серпа планеты, видна и часть поверхности, освѣщенная матовымъ сѣрымъ сіяніемъ. Здѣсь господствуютъ постепенно сгущающіяся сумерки.

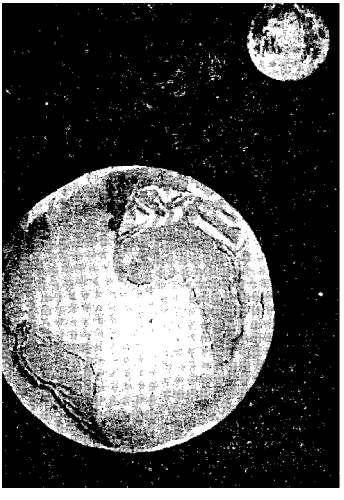


Рис. 151 **Относительные размѣры земли и луны.**

Меркурій и Венера при своемъ обращеніи около солнца проходятъ черезъ всѣ фазы, какъ луна (рис. 117 и 150).

Ни у той, ни у другой планеты, повидимому, спутниковъ нѣтъ

Луна самое близкое къ землѣ свѣтило.

Ея разстояніе отъ земли составляетъ только 60 земныхъ радіусовъ. Діаметръ луны около $^2/_7$ земного (рис. 151). объемъ около $^1/_{50}$, но масса только $^1/_{80}$, такъ что плотность луны почти въ 2 раза меньше плотности земли.

Вращеніе луны. Луна всегда обращена къ землѣ одной стороной своей поверхности

Проф. Дарвинъ далъ такое объясненіе этому интересному явленію, которое, повидимому, имѣетъ мѣсто и для Меркурія Нѣкогда луна была въ жидкомъ состояніи. Волна прилива поднималась на ея поверхности подъ притяженіемъ земли. Эта волна, будучи обращена всегда своей вершиной къ землѣ, обтекала луну въ направленіи, обратномъ ея вращенію. Но съ теченіемъ времени при охлажденіи жидкая масса сгущалась, получала вязкость, являлось треніе, которое сдерживало вращеніе луны внутренней массы, и въ концѣ концовъ черезъ многіе милліоны лѣтъ вращеніе луны замедлилось настолько, что стало равно времени ея обращенія по орбитѣ около земли, при чемъ волна прилива осталась направленной къ землѣ

Какъ показываютъ теоретическія изслѣдованія, луна дѣйствительно имѣетъ форму трехоснаго эллипсоида, большая ось котораго направлена къ землѣ. Впрочемъ, оси луннаго эллипсоида мало отличаются одна отъ другой

Сутки на лунѣ, такимъ образомъ, въ $29^1/_2$ разъ длиннѣе, чѣмъ на землѣ. Въ теченіе 15 нашихъ сутокъ каждое мѣсто на лунной поверхности освѣщается солнечными лучами, въ теченіе 15-ти сутокъ оно погружено въ темноту

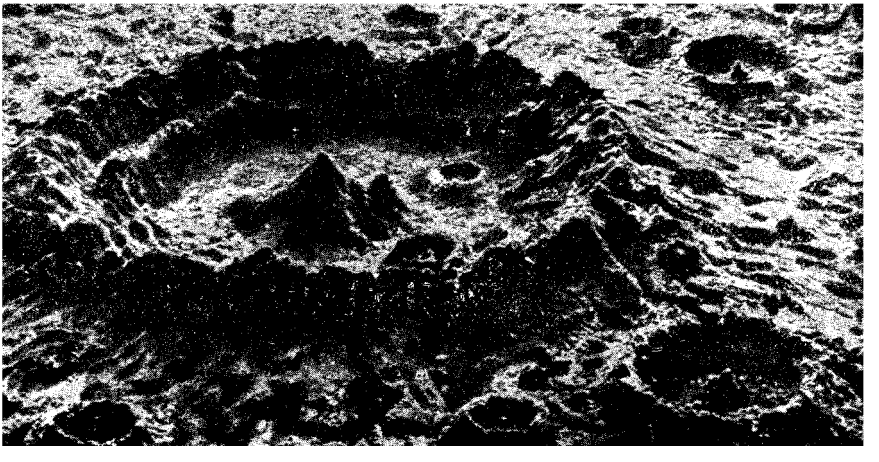


Рис. 152. Цирки круглыя горы на лунѣ

Атмосфера Разсвѣтъ долженъ на лунѣ наступать сразу, потому что вокругъ нея нѣтъ атмосферы, не можетъ быть сумерекъ Въ отсутствіи атмосферы убѣждаютъ насъ явленія покрытія звѣздъ (стр 72) Звѣзда, когда заходитъ за дискъ луны, скрывается изъ глазъ наблюдателя моментально Если бы она погружалась сначала

въ атмосферу, уплотняющуюся по мѣрѣ приближенія къ поверхности, то блескъ ея ослаблялся бы постепенно Точно такъ же и тѣни на лунѣ свидѣтельствуютъ объ отсутствіи атмосферы: онѣ совершенно черныя, а не сѣрыя, какъ на землѣ

Поверхность Уже невооруженнымъ глазомъ на лунѣ видны темныя пятна, такъ называемыя моря. Въ трубу можно разсмотрѣть и другія подробности

Главныя образованія на лунной поверхности круглыя горы такъ называемые цирки, напоминающіе по своему строенію кратеры нашихъ земныхъ вулкановъ: валъ, углубленіе внутрь ниже окружающей поверхности и часто центральная горка на днѣ (рис. 152)

Рис. 153. Горная цѣпь Апеннины на краю Моря Дождей. Высокія вершины отбрасываютъ длинныя тѣни Между цѣпью горъ и цирками внизу видны трещины

О высотѣ вала и глубинѣ цирка можно судить по тѣни

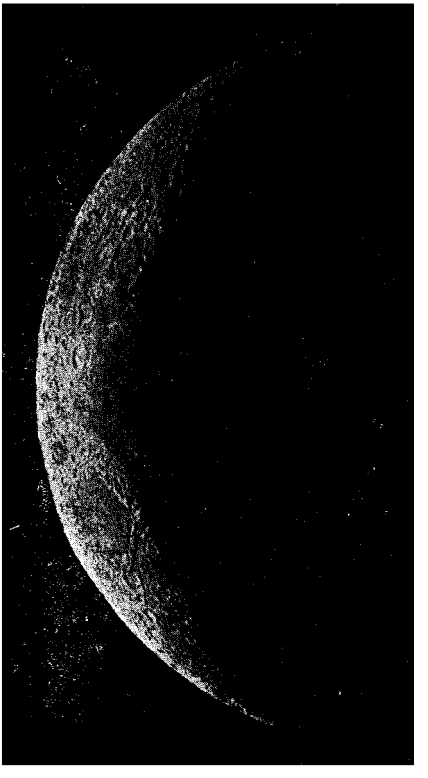
Напоминая своимъ общимъ видомъ наши вулканы, лунные цирки отличаются отъ нихъ размѣрами. Валъ поднимается надъ поверхностью самое большое версты на 2, его поперечникъ обыкновенно нѣсколько десятковъ верстъ, есть и огромные цирки верстъ въ 200 діаметромъ.

Кромѣ круглыхъ горъ, встрѣчаются на лунѣ и массивныя возвышенности, которыя стоятъ иногда на равнинѣ отдѣльно, но чаще образуютъ мощныя цѣпи. Онѣ отличаются отъ цирковъ своей высотой, которая даже превосходитъ высоту горъ земныхъ

Въ сторону моря склонъ горныхъ цѣпей обрывистъ, съ противоположной пологій (рис. 153) Во многихъ мѣстахъ на лунной поверхности видны трещины, образовавшіяся, вѣроятно, при сокращеніи коры.

На рис. 154 видно нѣсколько свѣтлыхъ точекъ, стоящихъ отдѣльно на черномъ фонѣ Это вершины горъ, которыхъ коснулся лучъ вос-

ходящаго солнца Измѣряя разстояніе свѣтлой точки отъ границы свѣта и тѣни на лунѣ, можно опредѣлить высоту горы. Рис. 155 объясняет идею способа. Измѣряя разстояніе свѣтлой вершины M отъ A и зная радіусъ луны AB, можемъ рѣшить треугольникъ ABM, найти BM, а слѣдовательно, и высоту горы.



серпъ луны въ астрономической трубѣ.

Въ полнолуніе можно видѣть свѣтлые лучи, радіусами расходящіеся отъ нѣкоторыхъ цирковъ (напримѣръ, Тихо, рис. 156) Несомнѣнно, луна пережила бурный вулканическій періодъ. Свѣтлые лучи, повидимому, пепелъ, извергнутый вулканами и свободно осѣвшій на поверхность вслѣдствіе отсутствія вѣтровъ

Замѣчательно, что вулканическія мѣстности на землѣ очень напоминаютъ лунные ландшафты. Сравнимъ, напримѣръ, рисунки 157 и 158 Только на лунѣ всѣ контуры рѣзки и опредѣленны, а на землѣ вслѣдствіе размыванія водой и вывѣтриванія горы сглажены, разрушены. Часто онѣ покрыты и растительностью.

Возможно, что на лунѣ вулканическая дѣятельность еще не совсѣмъ затихла и теперь. Замѣчено было на ея мертвой поверхности нѣсколько измѣненій, но, во всякомъ случаѣ, это исключительныя и большею частью неопредѣленныя явленія

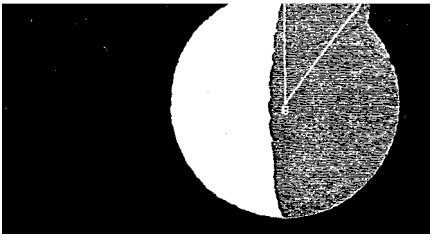


Рис. 155.

Рис. 159-й представляетъ идеальный ночной ландшафтъ на лунѣ: сравнительно низкіе, широкіе цирки, высокія цѣпи горъ, трещины въ корѣ, черное небо вокругъ, на немъ яркія звѣзды и полная земля съ туманными очертаніями ея материковъ; тихо и мертво кругомъ, ни вѣтерка, ни ше-

леста, никакого звука. Нѣтъ атмосферы, которая могла бы передавать звукъ, которая дала бы окраску небесному своду. Днемъ съ луны должны быть видимы звѣзды вмѣстѣ съ солнцемъ.

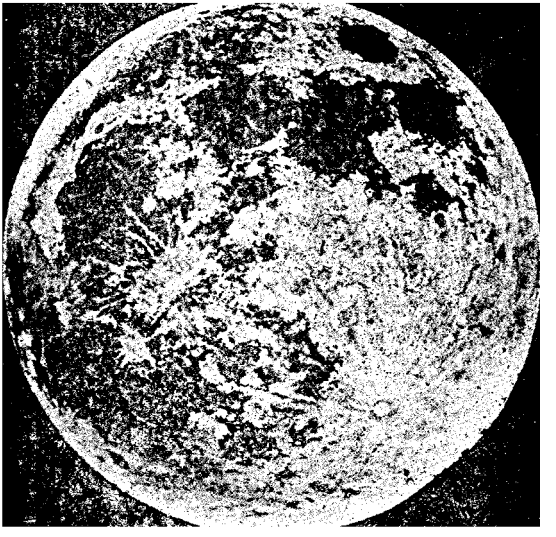
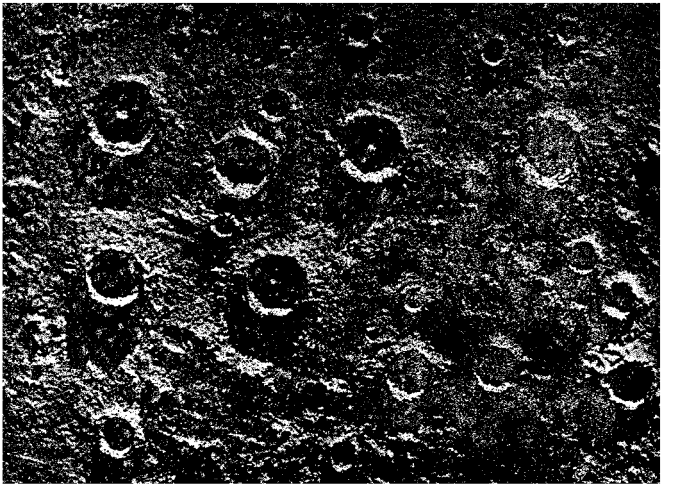


Рис. 156. Полный дискъ луны въ астрон. трубѣ. Отъ цирковъ Тихо и Коперника расходятся радіусами свѣтлые лучи.

Марсъ по своей природѣ наиболѣе похожая на землю планета, хотя и значительно отличающаяся отъ нея размѣрами.

Діаметръ Марса приблизительно въ 2 раза меньше земного, объемъ его только $^1/_7$ объема земли, масса $^1/_{10}$ земной; плотность по отношенію къ водѣ 4

На поверхности Марса видны вполнѣ опредѣленныя пятна по которымъ можно было выяснить вращеніе планеты: время вращенія 24 час. 37 мин. 22,6 сек., наклоненіе экватора къ плоскости орбиты 27°



157. Лунный ландшафтъ.

Это какъ разъ почти тѣ же числа, какія имѣемъ для земли (время вращ. 24 часа, наклоненіе экватора къ эклиптикѣ $23^1/_2{}^0$)

Вслѣдствіе этого на Марсѣ явленія, зависящія отъ суточнаго

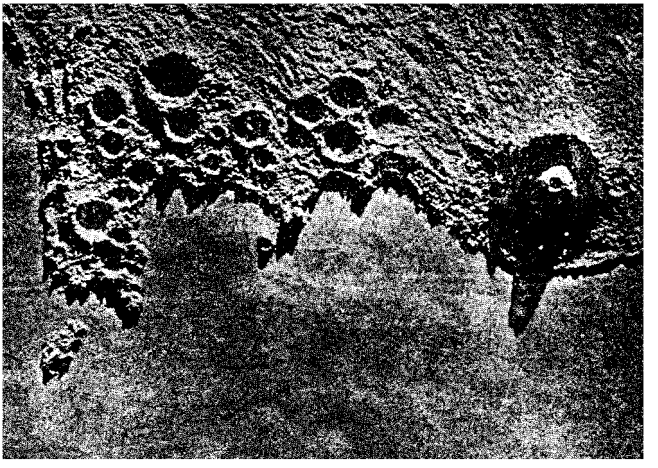


Рис. 158. Идеальный ландшафтъ и земной поверхности Везувій Флегрейскія поля (мѣстность на западъ отъ Неаполя)

вращенія, подобны тѣмъ, которыя происходятъ на землѣ Приблизительно такое же и относительное распредѣленіе тепла на поверхности, хотя общее количество тепла, получаемое Марсомъ, въ два раза меньше того, что получаетъ земля. Впрочемъ, нѣкоторое несоотвѣтствіе можетъ происходить оттого, что атмосфера Марса болѣе прозрачна, чѣмъ атмосфера земли.

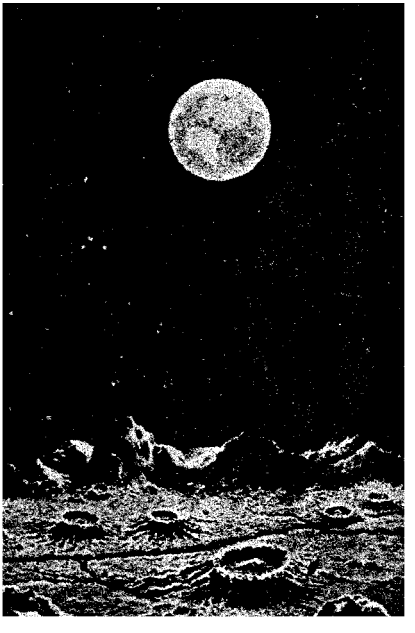


Рис 159

На полюсахъ Марса видны бѣлыя пятна. Они уменьшаются въ своихъ размѣрахъ, когда въ соотвѣтствующемъ полушаріи лѣто, и какъ бы таютъ подъ дѣйствіемъ солнечныхъ лучей.

Кромѣ этихъ бѣлыхъ пятенъ различаютъ еще болѣе постоянныя темныя и свѣтлыя пятна Многіе наблюдатели склонны признать темныя пятна морями, а свѣтлыя материками

Оказалось возможнымъ составить карту поверхности Марса рис. 160

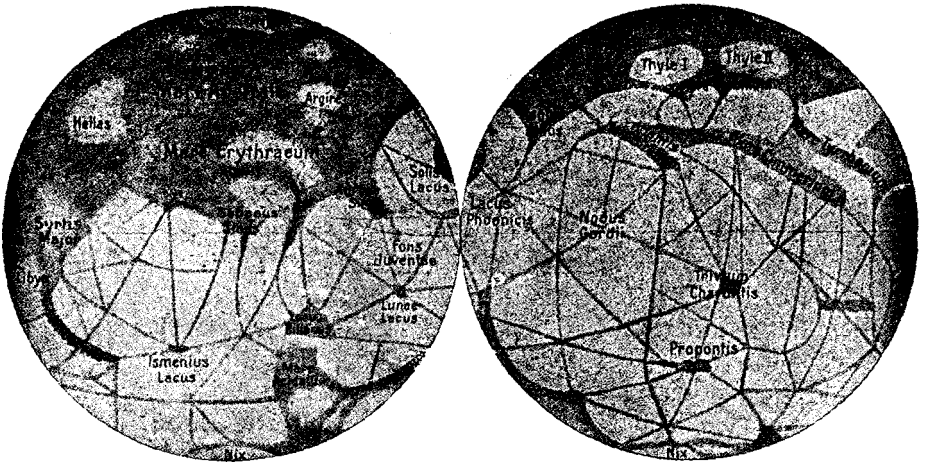


Рис. 160. Карта поверхности Марса: свѣтлыя мѣста такъ называемые материки, темныя моря; соединяющія ихъ линіи каналы

Загадочное явленіе представляютъ такъ называемые каналы, прорѣзывающіе материки и соединяющіе моря. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ эти каналы почему то кажутся двойными.

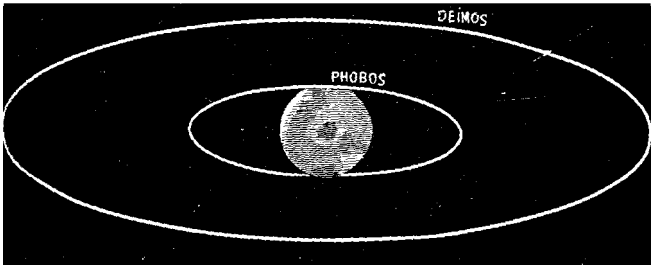


Рис 161 Орбиты спутниковъ Марса

У Марса два спутника, которые очень малы по своимъ размѣрамъ и сравнительно близки къ планетѣ (рис. 161).

Малыя планеты или астероиды широкимъ поясомъ движутся вокругъ солнца между орбитами Марса и Юпитера (стр. 98)

Число малыхъ планетъ, извѣстныхъ намъ въ настоящее время, около 800. Съ каждымъ годомъ оно увеличивается. Астероиды очень малыя тѣла. Наибольшія изъ нихъ могутъ имѣть 500 600 кил. въ діаметрѣ, наименьшія же даже 30 клм. Въ трубу они являются слабыми звѣздочками, отличающимися отъ другихъ только своимъ движеніемъ. О природѣ ихъ мы ничего не знаемъ. Повидимому, всѣ они лишены атмосферы, какъ луна и Меркурій

Между орбитами малыхъ планетъ есть просвѣты какъ разъ въ тѣхъ мѣстахъ. гдѣ особеннымъ образомъ должно сказаться возмущающее вліяніе Юпитера, который вслѣдствіе этого какъ бы разогналъ планетки и сгруппировалъ ихъ орбиты въ тѣсныя кольца рис 162

Юпитеръ Могучій Юпитеръ и по объему, и по массѣ наи большая планета въ солнечной системѣ

Его объемъ въ 1300 разъ больше объема земли, масса въ 310 разъ больше земной массы. Такимъ образомъ, Юпитеръ подобенъ солнцу и по плотности, которая составляетъ $^1/_4$ плотности земли.

По пятнамъ, которыя видны на Юпитерѣ, заключаемъ о вращеніи его около оси

Интересно, что узкій экваторіальный поясъ вращается, повидимому, нѣсколько быстрѣе (время оборота 9 час. 50 мин.) остальной поверхности (9 час. 55 мин.). Въ этомъ мы опять видимъ сходство Юпитера съ солнцемъ. Ось вращенія почти перпендикулярна къ плоскости орбиты

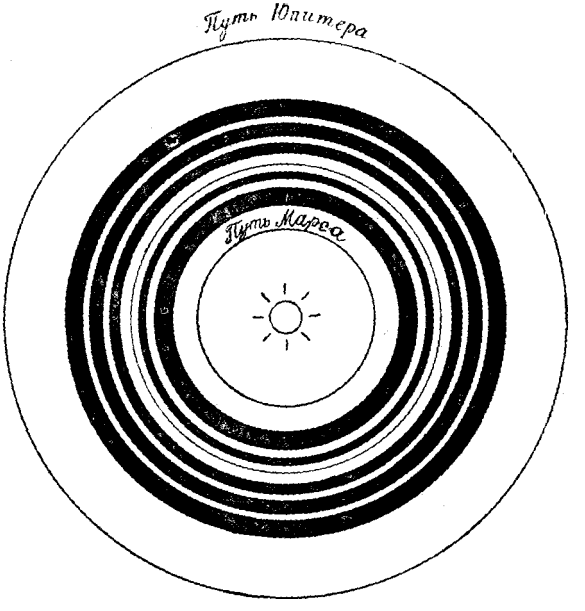


Рис. 162. Распредѣленіе орбитъ малыхъ планетъ между орбитами Марса и Юпитера. Орбиты сгруппированы въ кольца, между которыми пустоты.

Результатомъ быстраго вращенія является большое сжатіе, ясно замѣтное при непосредственномъ наблюденіи ($^1/_{16}$).

Находясь отъ солнца на разстояніи въ 5,2 разъ большемъ, чѣмъ земля, Юпитеръ получаетъ отъ солнца немного тепла. Но самъ онъ, повидимому, еще не успѣлъ охладиться. На поверхности планеты мы не видимъ образованій съ опредѣленными контурами; пятна, которыя наблюдаются на ея дискѣ, измѣнчиваго, облачнаго характера

Параллельно экватору какъ въ южномъ, такъ и въ сѣверномъ полушаріи тянутся бурыя полосы, ширина и число которыхъ бываютъ различны въ различное время.

Наиболѣе характернымъ является большое красное пятно, которое особенно ясно наблюдалось въ 1878 –1886 г.г. По объясненію проф. Бредихина на поверхности Юпитера начала образовываться корка, часть ея, плавающая на огненномъ океанѣ, и есть красное пятно. По временамъ пятно это скрывается отъ нашихъ взоровъ различными облачными образованіями.

Юпитеръ окруженъ довольно плотной атмосферой рис. 163

Система Юпитера. Глубокое впечатлѣніе произвелъ Юпитеръ на Галилея, когда послѣдній впервые направилъ на него свою

трубу Галилей видѣлъ передъ собой какъ бы модель солнечной системы по теоріи Коперника: громадное тѣло въ серединѣ, вокругъ ходятъ меньшія тѣла спутники.

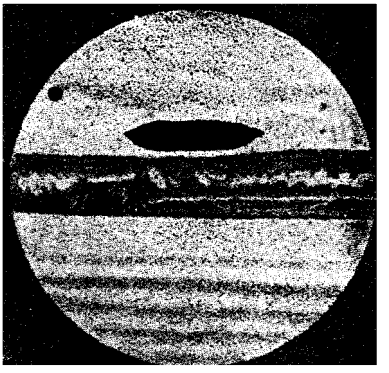


Рис. 163. Поверхность Юпитера по наблюденіямъ проф. Бредихина. Рядъ параллельныхъ полосъ, особенно широкая — средняя, на ней видны облачныя образованія, выше нея большое овальное красное пятно. Черное круглое пятнышко тѣнь спутника, проходящаго передъ планетой.

Въ теченіе почти 300 лѣтъ были извѣстны только 4 спутника, которыхъ открылъ Галилей. Но въ 1892 г. американскій астрономъ Барнардъ усмотрѣлъ еще пятаго, который представляетъ собой очень маленькое тѣло

Въ 1904 - 1905 г.г. съ помощью фотографіи открыто еще два спутника, шестой и седьмой, въ 1908 г открытъ восьмой спутникъ, въ 1914 г. девятый, всѣ очень слабые

Изъ четырехъ яркихъ спутниковъ одинъ почти равенъ по своимъ размѣрамъ Марсу, другой Меркурію. самый малый приблизительно таковъ, какъ наша луна.

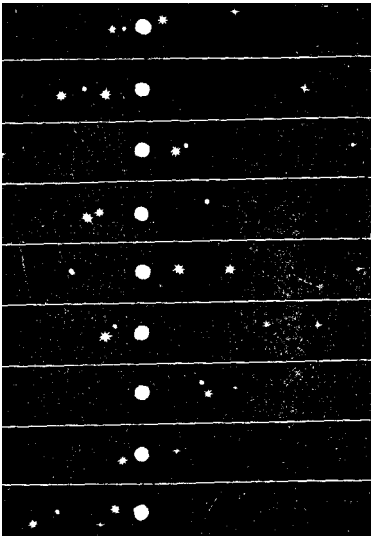


Рис. 164 Расположеніе спутниковъ Юпитера относительно планеты въ теченіе 9-ти послѣдовательныхъ дней.

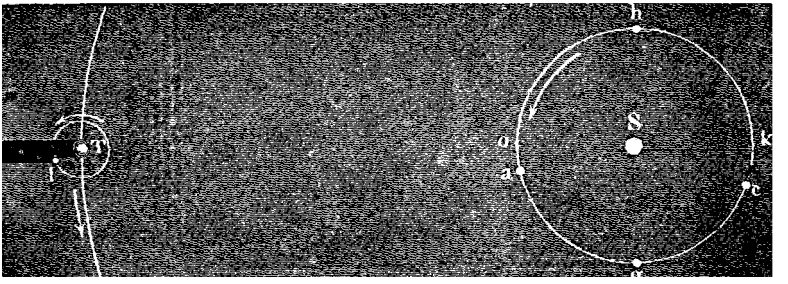
Движенія спутниковъ представляютъ весьма интересныя явленія На рис. 164 мы имѣемъ положенія Юпитера со спутниками для 9 дней. Сразу бросается въ глаза послѣдовательность въ измѣненіи положенія спутниковъ относительно планеты.

Мы можемъ наблюдать вхожденія спутниковъ въ тѣнь, отбрасываемую Юпитеромъ отъ солнца, и выхожденія ихъ изъ тѣни (рис. 165). По наблюденію этихъ затменій спутниковъ Юпитера между прочимъ впервые была опредѣлена Ремеромъ скорость свѣта. Ими пользуются также для опредѣленія разности долготъ.

Мы видимъ, какъ скрываются спутники за корпусомъ планеты, какъ они выходятъ изъ-за него, какъ проходятъ они передъ планетой, какъ ползетъ тѣнь того или другого спутника по диску Юпитера, когда передъ нимъ проходитъ этотъ спутникъ (см. рис. 163)

Сатурнъ единственная планета въ солнечной системѣ, окруженная кольцомъ.

Объемъ Сатурна въ 860 разъ больше объема земли, масса въ 94 раза больше массы земли, плотность всего $^1/_8$ плотности земли, сжатіе $^1/_{12}$, т. е. болѣе даже, чѣмъ у Юпитера.



165. Выхожденіе спутника изъ конуса тѣни, отбрасываемаго Юпитеромъ (T) Направо солнце—S и орбита земли.

На поверхности планеты ничего почти не видно По пятнамъ оторыя наблюдаются очень рѣдко, опредѣляютъ приблизительно

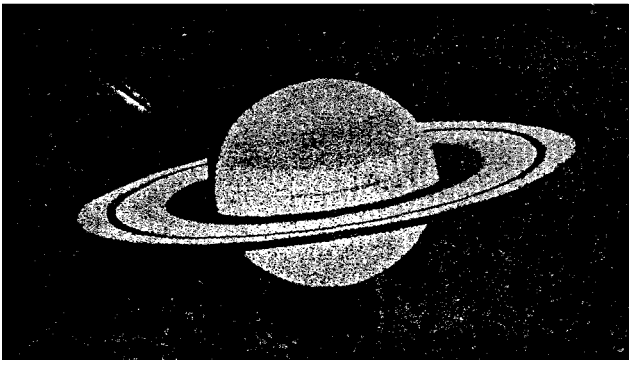


Рис. 166 Сатурнъ и его кольца по рисунку Барнарда

время вращенія въ 10 час. 14 мин. Повидимому, Сатурнъ, подобно Юпитеру, находится въ расплавленномъ состояніи.

Самое замѣчательное явленіе на Сатурнѣ кольцо или, вѣрнѣе, кольца, потому что мы опредѣленно видимъ темные просвѣты, отдѣляющіе кольца одно отъ другого (рис. 166)

Всѣ кольца находятся въ одной плоскости, наклоненной къ плоскости эклиптики на 28° Они очень тонки, поэтому, когда земля проходитъ черезъ плоскость кольца, мы ихъ не видимъ (положенія 3 и 9 на рис. 167). Это повторяется черезъ 15 лѣтъ—два раза за время полнаго оборота Сатурна вокругъ солнца. Наоборотъ, когда Сатурнъ находится въ точкахъ, отстоящихъ отъ первыхъ двухъ положеній на 90°, кольца наиболѣе открыты (положенія 6 и 12)

Повидимому, кольца Сатурна представляютъ собой рой маленькихъ тѣлецъ, которыя, какъ спутники, каждое само по себѣ обращаются вокругъ планеты.

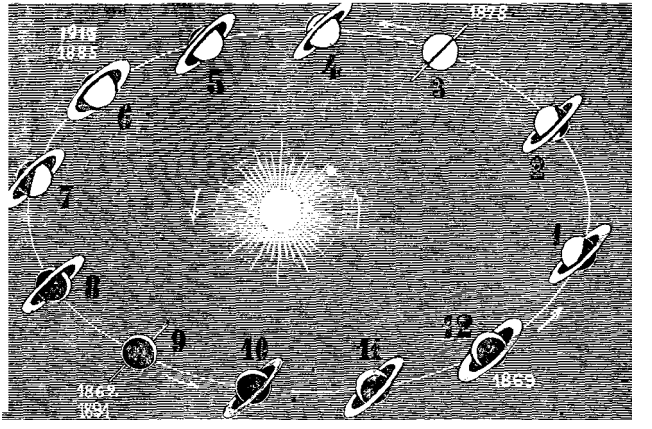


Рис. 167 Измѣненія вида кольца Сатурна въ теченіе полнаго оборота планеты около солнца.

Кромѣ этихъ маленькихъ спутниковъ, являющихся для насъ въ

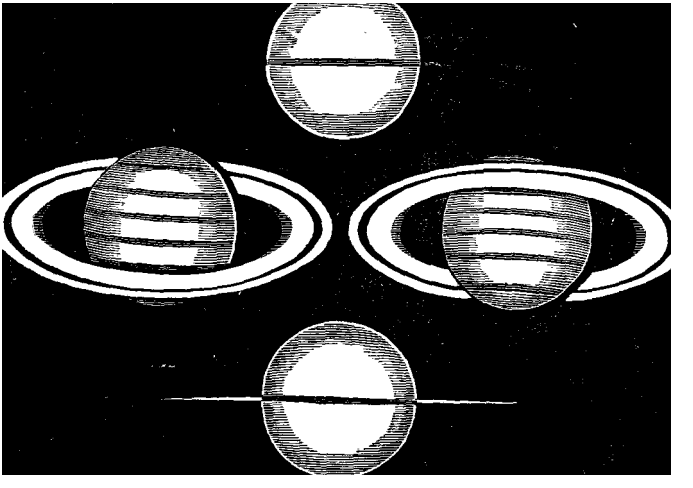


Рис. 168. Главнѣйшія фазы при измѣненіи вида кольца Сатурна: два раза кольцо наиболѣе открыто, въ одномъ передняя часть его приподнята (положеніе 6 на рис. 167), въ другомъ опущена (положеніе 12); кольцо узкое, какъ линія, и на нѣсколько дней совсѣмъ исчезаетъ Сатурнъ безъ кольца.

общей массѣ колецъ, Сатурнъ имѣетъ еще десять наблюдающихся отдѣльно спутниковъ. Изъ нихъ наибольшій Титанъ

Уранъ и Нептунъ, благодаря большому отъ насъ разстоянію, не доступны для наблюденія невооруженнымъ глазомъ, хотя и являются значительными членами солнечной системы

По отношенію къ землѣ

Объемъ Урана	70	масса	14	плотность	0,2
„ Нептуна	55	„	17	„	0,3

Повидимому, обѣ планеты еще находятся въ расплавленномъ состояніи. Ни времени вращенія, ни положенія оси для нихъ нельзя было опредѣлить.

Около Урана ходятъ 4 спутника, у Нептуна намъ извѣстенъ одинъ спутникъ

Орбиты спутниковъ Урана почти перпендикулярны къ эклиптикѣ, орбита спутника Нептуна наклонена къ ней подъ угломъ въ 145^0

Зодіакальный свѣтъ

Въ ясный зимній или весенній вечеръ послѣ сумерекъ на западѣ, а лѣтомъ и осенью передъ зарею на востокѣ иногда можно видѣть слабое сіяніе пирамидальной формы, которое зовется зодіакальнымъ свѣтомъ, потому что оно стелется по эклиптикѣ.

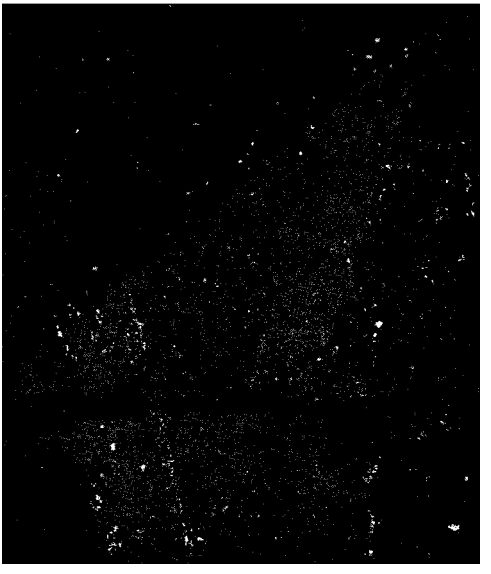


Рис. 169.—Зодіакальный свѣтъ.

Повидимому, это образованіе кольцомъ охватываетъ солнце, но, что собственно представляетъ оно, до сихъ поръ не выяснено (рис. 169).

Глава XXIII **Кометы и падающія звѣзды**

Кометы. Нежданно-негаданно, неизвѣстно откуда появляются иногда на небѣ странныя свѣтила необычнаго вида: съ размытой туманной головой, съ длиннымъ хвостомъ. Это кометы, т. е. волосатыя звѣзды (рис. 170). Движенія кометъ среди звѣздъ часто довольно быстрыя, внѣшній видъ измѣнчивъ.

Въ прежнее время появленіе кометъ наводило ужасъ на людей, да и теперь темныя народныя массы часто смотрятъ на нихъ суевѣрно. Кометы считались вѣстниками различныхъ несчастій: войны, голода,

землетрясенія, чумы, смерти правителя. А на самомъ дѣлѣ эти гостьи въ нашей солнечной системѣ идутъ по опредѣленнымъ путямъ подъ

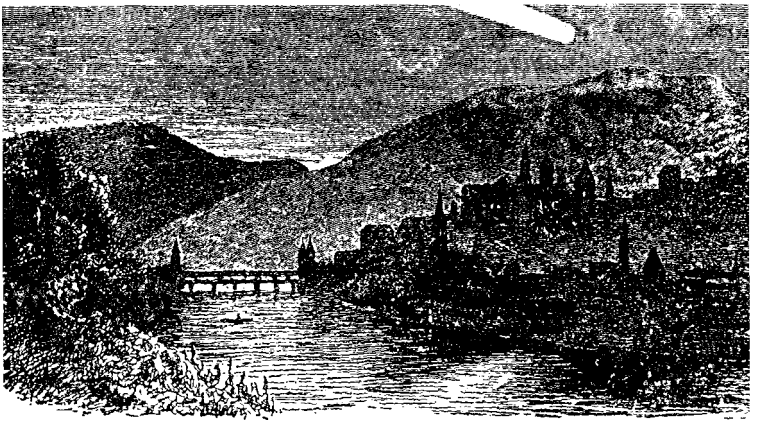


Рис. 170.

дѣйствіемъ постоянной силы притяженія солнца, никакого отношенія къ землѣ онѣ не имѣютъ и ничего угрожающаго ей не несутъ.

Орбиты кометъ отличаются вытянутостью. Большинство движется по такимъ вытянутымъ путямъ, которые мы въ предѣлахъ нашихъ изслѣдованій считаемъ просто параболами (см. приложеніе), своими вѣтвями уходящими въ безконечность. По одной вѣтви пара-

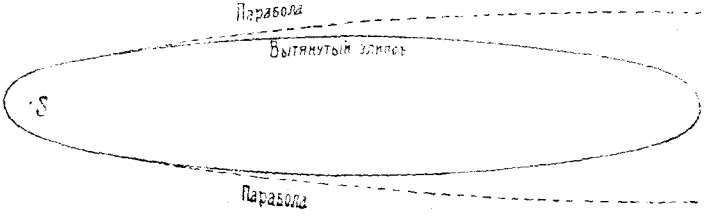


Рис. 171 Вытянутый эллипсъ и парабола.

болы комета приходитъ изъ безконечнаго пространства къ солнцу, обогнетъ его на сравнительно близкомъ разстояніи и вновь удалится навсегда по другой вѣтви кривой (рис. 171)

Періодическія кометы.—Но есть нѣсколько кометъ, которыя движутся хотя по вытянутымъ, но все-таки замкнутымъ орбитамъ, такъ что черезъ то или другое число лѣтъ вновь возвращаются на близкое разстояніе къ солнцу и землѣ.

Такія кометы, періодически появляющіяся черезъ нѣсколько лѣтъ, называются *періодическими*. Изъ нихъ можно прежде всего назвать комету Галлея, которая наблюдалась въ 1531, 1607, 1682, 1758, 1835 и 1910 г.г. Время ея обращенія около 76 лѣтъ

Движеніе кометъ около солнца совершается подъ дѣйствіемъ его притяженія, слѣдовательно, по законамъ Кеплера. Время обращенія опредѣляетъ среднее разстояніе кометы отъ солнца.

Задача. Вычислить среднее разстояніе кометы Галлея отъ солнца
Отв. 18,8 разстоянія земли отъ солнца

Строеніе кометъ. Вещество кометъ *мало связное*. Наблюдалось нѣсколько случаевъ дѣленія кометъ на нѣсколько частей Общая масса кометы ничтожна. Въ кометѣ обыкновенно различаютъ три части: 1) туманную округлую массу, такъ называемую *голову*, 2) свѣтлое уплотненіе внутри головы *ядро* и 3) длинный, изогнутый или прямой придатокъ сзади головы *хвостъ*

Когда комета далека отъ солнца, она движется медленно и имѣетъ видъ круглой туманности, но по мѣрѣ приближенія ея къ солнцу скорость движенія увеличивается, появляется хвостъ, который растетъ все болѣе и болѣе, достигая наибольшей величины обыкновенно *послѣ* прохожденія черезъ перигелій

У большихъ яркихъ кометъ хвостъ тянется иногда на много милліоновъ верстъ. Онъ состоитъ всегда изъ *крайне разрѣженной матеріи*, такъ что, покрывая на небѣ звѣзды, онъ не ослабляетъ ихъ блеска

Случалось что земля проходила черезъ хвостъ кометы; объ этомъ знали только по теоретическимъ расчетамъ, никакихъ особенныхъ явленій при этомъ не наблюдалось. Такъ было, между прочимъ, 6 мая 1910 года, когда земля прошла черезъ хвостъ кометы Галлея.

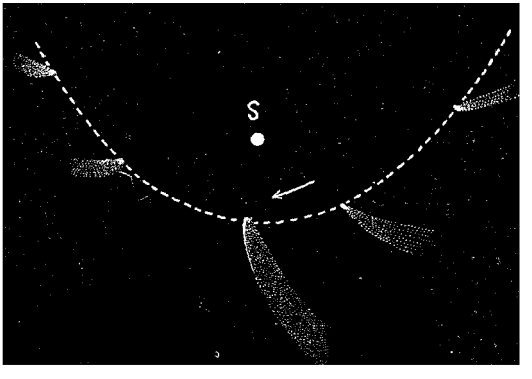


Рис. 172. Комета обходитъ солнце; хвостъ всегда направленъ въ сторону, противоположную солнцу.

Еще въ древности было замѣчено, что хвостъ отклоненъ въ сторону, противоположную солнцу. Точнѣе онъ отклоненъ *наружу* отъ орбиты кометы, но не прямо противоположно солнцу Онъ отстаетъ нѣсколько отъ линіи, соединяющей комету съ солнцемъ, въ сторону, откуда движется комета (рис. 172)

Нѣкоторыя кометы огибали солнце на чрезвычайно близкомъ разстояніи, входили въ его атмосферу и почти касались блестящей поверхности. Въ этихъ случаяхъ скорость кометы въ перигеліи достигала 500—600 килом. въ секунду.

Спросимъ себя, какова была бы при этомъ скорость частицъ хвоста, отдаленныхъ отъ ядра на десятки милліоновъ километровъ, если бы хвостъ представлялъ прочное неизмѣнное образованіе, связанное съ кометой. Очевидно, эта скорость громадна, громадна настолько, что хвостъ не могъ бы уцѣлѣть и разорвался бы. Отсюда выводъ естественный, что хвостъ кометы состоитъ изъ частицъ, выбрасываемыхъ кометой въ пространство. Тотъ хвостъ, который мы видимъ сегодня, состоитъ уже не изъ тѣхъ частицъ матеріи, какъ вчера или два дня назадъ, завтра въ его составъ войдутъ опять новыя частицы.

Хвостъ кометы по своему образованію напоминаетъ дымъ надъ движущимся пароходомъ (рис. 173). Когда пароходъ былъ въ точкѣ A изъ трубы его былъ выброшенъ клубъ дыма. Пока пароходъ дошелъ до D, этотъ клубъ поднялся до точки a и расширился.

Клубъ, выброшенный въ B, дошелъ до b
„ „ „ C, „ „ c,

и мы видимъ дымъ въ видѣ рога $dcba$.

Наблюденія прямо обнаруживаютъ, какъ течетъ матерія изъ ядра подъ дѣйствіемъ горячихъ солнечныхъ лучей. Сначала это истеченіе направляется къ солнцу, но потомъ загибаетъ, и разрѣженная матерія отбрасывается въ хвостъ.

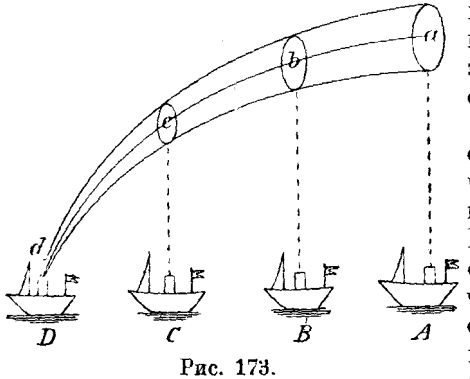


Рис. 173.

Какая сила гонитъ частицы отъ солнца, мы не знаемъ. Возможно что это электрическое отталкиваніе или давленіе солнечныхъ лучей *) И въ томъ, и въ другомъ случаѣ сила пропорціональна поверхности частицы, т. е. квадрату радіуса частицы. Сила же притяженія солнца, по закону Ньютона, пропорціональна массѣ частицы, а масса пропорціональна объему, слѣдовательно, третьей степени радіуса частицы.

При разложеніи подъ дѣйствіемъ солнечныхъ лучей матеріи, размѣры частицъ ея дѣлаются все меньше и меньше. Сила притяженія при этомъ ослабѣваетъ пропорціонально кубу радіуса частицы, а сила отталкивательная только пропорціонально квадрату радіуса. При очень малыхъ частицахъ отталкивательная сила возьметъ верхъ надъ притяженіемъ, и частица, которая сначала направлялась къ солнцу, теперь будетъ отброшена назадъ, въ хвостъ.

*) Предполагавшееся теоретически давленіе свѣтовыхъ лучей было обнаружено на опытѣ проф. Лебедевымъ въ Москвѣ

Изслѣдуя форму хвостовъ различныхъ кометъ, проф. Бредихинъ что отталкивательная сила можетъ быть трехъ родовъ:

I въ 36 и 18 разъ
II отъ 2,2 до 0,5
III отъ 0,3 до 0
} больше ньютоніанскаго притяженія,

и въ соотвѣтствіи съ этимъ всѣ хвосты кометъ могутъ быть раздѣлены на три группы, или три типа, общую форму которыхъ передаетъ рис. 174. При концѣ своей жизни Бредихинъ нашелъ, что отталкивательная сила можетъ превосходить ньютоніанское притяженіе даже въ 70 разъ. Но подъ дѣйствіемъ такой силы образуются хвосты почти совершенно такіе же по виду, какъ подъ дѣйствіемъ силы 18, такъ что они относятся къ тому же I-му типу

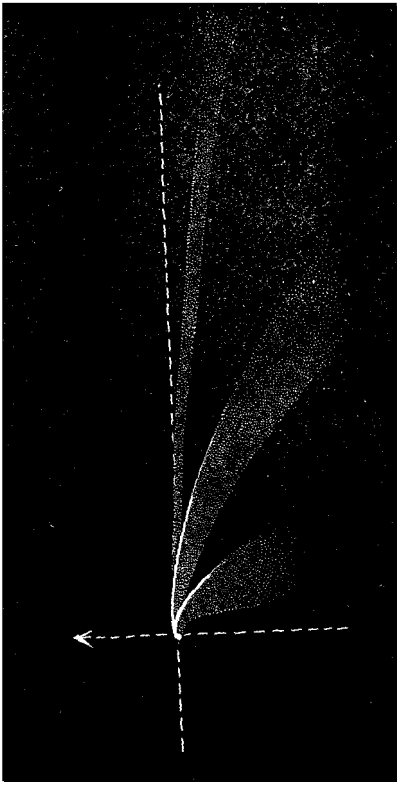


Рис. 174 Три типа кометныхъ хвостовъ по Бредихину.

Чѣмъ легче вещество, тѣмъ больше отталкивательная сила Такимъ образомъ, хвосты I-го типа, повидимому, состоятъ изъ легчайшихъ элементовъ: водорода и гелія; въ составъ хвоста II-го типа могутъ входить различныя углеродныя соединенія, азотъ, натрій, калій и проч.; въ составъ хвоста III-го типа—тяжелые металлы: желѣзо, мѣдь, свинецъ, серебро, золото.

Бредихинъ разслѣдовалъ и многія детали, которыя наблюдались въ кометныхъ хвостахъ, напримѣръ, движеніе облачнаго образованія въ хвостѣ кометы 1882 г., фигуры въ видѣ буквы гаммы, волнистость очертанія всѣ онѣ указываютъ, что хвостъ кометы состоитъ изъ матеріальныхъ частицъ, движущихся отъ ядра съ той или другой скоростью.

Если истеченіе ослабѣваетъ, то хвостъ становится уже и иногда прерывается (рис. 175); если вмѣсто непрерывнаго истеченія было нѣсколько вспышекъ, то вмѣсто одного хвоста получится рядъ полосъ, представляющихъ какъ бы поперечныя сѣченія необразовавшагося хвоста.

Падающія звѣзды Долгое время падающія звѣзды считались атмосферными явленіями, отсюда и второе названіе ихъ метеоры

Но метеоры только загораются въ нашей атмосферѣ, идутъ же они къ намъ изъ безконечнаго пространства по опредѣленнымъ путямъ, какъ кометы. Влетая съ громадной скоростью въ атмосферу земли, маленькое космическое тѣльце вслѣдствіе сопротивленія воздуха накаливается и загорается. Обыкновенно оно и сгораетъ все на большой высотѣ. Только въ исключительныхъ случаяхъ, когда попадаетъ въ атмосферу земли тѣло большое, оно не успѣваетъ сгорѣть и падаетъ на землю съ трескомъ и шумомъ, въ видѣ камня. Яркіе метеоры носятъ названіе болидовъ, а камни, падающіе съ неба, называются аэролитами или метеоритами.

Рис. 175. Комета Рордама по фотографіи.

Свѣтлыя черточки слѣды звѣздъ, относительно которыхъ комета за время экспозиціи перемѣщалась.

Высота возгоранія.—Если двумъ наблюдателямъ, находящимся верстъ на 30 40 другъ отъ друга, удастся наблюдать одинъ и тотъ же метеоръ, то они увидятъ его неодинаково по отношенію къ звѣздамъ: одинъ выше, другой ниже, правѣе или лѣвѣе. Это параллактическое смѣщеніе позволяетъ опредѣлить высоту возгоранія и высоту потуханія

Въ среднемъ метеоры вспыхиваютъ на высотѣ 120 верстъ и сгораютъ вполнѣ на высотѣ 80. Болиды спускаются ниже до 40 –45 верстъ надъ поверхностью земли.

Составъ метеоровъ. Малые метеоры, составляя въ среднемъ какъ можно судить по блеску, нѣсколько долей грамма, сгораютъ въ атмосферѣ совершенно, спектръ ихъ наблюдать трудно, такъ что о составѣ собственно метеоровъ мы ничего не знаемъ. Но метеориты, падающіе на землю, изучены хорошо. Въ составъ ихъ входятъ: водородъ, кислородъ, азотъ, сѣра, хлоръ, фосфоръ, углеродъ, калій, натрій, кальцій, кремній, желѣзо, мѣдь, олово и др

Звѣздные дожди — Знаменитый естествоиспытатель Александръ фонъ-Гумбольдтъ во время своего путешествія въ Америку былъ свидѣтелемъ 12 ноября 1799 г. чрезвычайно эффектнаго явле-

нія: паденія массы метеоровъ, которые по всему небу въ теченіе многихъ часовъ сыпались по нѣсколько сотъ въ минуту какъ дождь состоящій изъ звѣздъ. По разсказамъ туземцевъ такой же звѣздный

Рис. 176 Звѣздный дождь

дождь наблюдался раньше въ 1766 г. 11-го ноября. Онъ повторился послѣ въ 1833 и 1866 г.г., какъ разъ въ тотъ же день 12-го ноября (рис. 176)

Богатство явленія и его правильная періодичность 33 34 года обратила вниманіе астрономовъ на метеоры, которые до тѣхъ поръ считались чуждыми ихъ области изслѣдованія.

Въ 1833 г. была отмѣчена важная подробность, которая прямо указывала на *космическое* происхожденіе метеоровъ: именно всѣ метеоры как будто бы исходили изъ одной точки на небѣ, какъ радіусы из центра рис 177 Точка эта *не мѣняла* своего мѣста

относительно звѣздъ и вмѣстѣ съ ними принимала участіе въ суточномъ движеніи небеснаго свода.

Она получила названіе радіанта *)

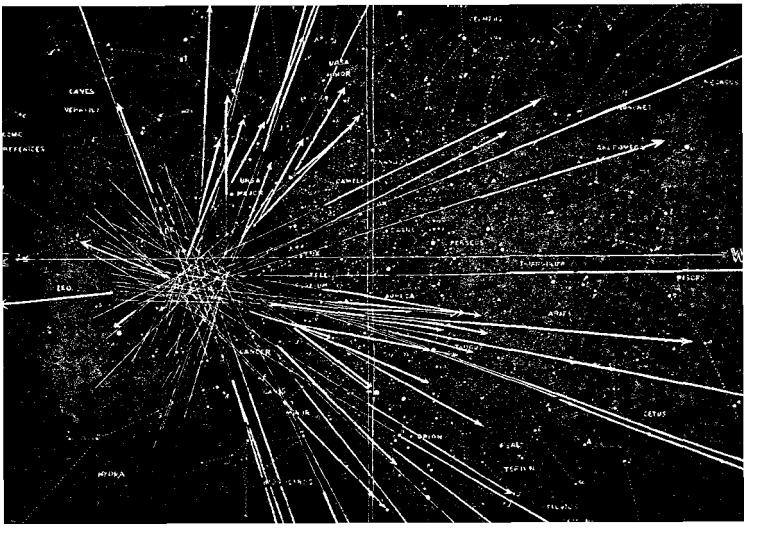


Рис. 177. Пути метеоровъ, продолженные назадъ, всѣ пересѣкаются въ небольшой области неба—площади радіаціи.

Всякій вспомнитъ, какъ два параллельныхъ рельса кажутся сходящимися вдали, какъ видимо сближаются по мѣрѣ отдаленія отъ насъ параллельные ряды деревьевъ на аллеѣ и пр. Это—явленіе перспективы Представьте себѣ, что навстрѣчу землѣ несутся въ пространствѣ изъ безконечности по параллельнымъ путямъ малыя тѣльца, которыя въ атмосферѣ загораются, — вы и увидите свѣтлые слѣды ихъ расходящимися изъ одной точки.

Такимъ образомъ, падающія звѣзды дѣйствительно космическія тѣла которыя движутся въ пространствѣ независимо отъ земли и становятся для насъ видимыми, когда попадаютъ въ атмосферу земли и сгораютъ въ ней. Если они идутъ густой массой, какъ рой пчелъ, то мы наблюдаемъ звѣздный дождь.

Для звѣздныхъ дождей 1833 и 1866 г.г. радіантомъ явилась точка въ созвѣздіи Льва. Поэтому этотъ рой, или потокъ метеоровъ получилъ названіе „Леониды“

Въ 1872 и 1885 г.г. 27-го ноября нов. ст. тоже наблюдались богатые звѣздные дожди съ радіантомъ въ созвѣздіи Андромеды –это такъ называемые Андромедиды.

*) Наблюденія собственно даютъ не точку, а нѣкоторую площадь, въ предѣлахъ которой пересѣкаются продолженные назадъ пути метеоровъ. Она называется площадью радіаціи

Въ другихъ случаяхъ дождя собственно нѣтъ, но въ опредѣленный день года мы видимъ большее, чѣмъ обыкновенно, число метеоровъ, идущихъ изъ одного радіанта. Довольно богатый потокъ метеоровъ наблюдается каждый годъ 10—12 августа нов. ст. съ радіантомъ въ созвѣздіи Персея—Персеиды

Въ настоящее время извѣстно до 4000 радіантовъ различныхъ потоковъ, но часто мы не можемъ указать, къ какому потоку принадлежитъ тотъ или другой отдѣльный метеоръ.

Скорость метеоровъ. Число метеоровъ въ различные часы ночи неодинаково. Вообще подъ утро ихъ наблюдается больше, чѣмъ съ вечера. Итальянскій ученый Скіапарелли изъ этого факта сдѣлалъ остроумные выводы относительно средней скорости метеоровъ. Подъ утро мы видимъ тѣ метеоры, которые несутся навстрѣчу землѣ въ ея движеніи около солнца, ихъ видимая скорость большая, потому что она слагается изъ дѣйствительной скорости метеоровъ и скорости земли. Вечеромъ, наоборотъ, нашему наблюденію доступны тѣ метеоры, которые влетаютъ въ атмосферу земли, догоняя ее, поэтому видимая скорость ихъ сравнительно мала. Вообще же ясно, что метеоры движутся быстрѣе земли. Ихъ средняя скорость составляетъ 40 верстъ, т. е. 1,4 скорости земли въ ея движеніи около солнца, а это какъ разъ такая скорость, которую въ данномъ случаѣ должно имѣть тѣло, движущееся по параболѣ

Связь падающихъ звѣздъ съ кометами. Установивши, что метеоры имѣютъ параболическую скорость, Скіапарелли попробовалъ вычислить параболическую орбиту для Персеидъ. Онъ съ удивленіемъ увидѣлъ, что она чрезвычайно похожа на тотъ путь, по которому прошла комета III-я 1862 г. (рис. 178). Путь этотъ—эллипсъ, далеко уходитъ за орбиту Нептуна, близъ солнца мало отличающійся отъ параболы. Комета обходитъ по нему въ 124 года Послѣ было установлено, что потокъ Леонидъ движется по орбитѣ кометы I-й 1866 г

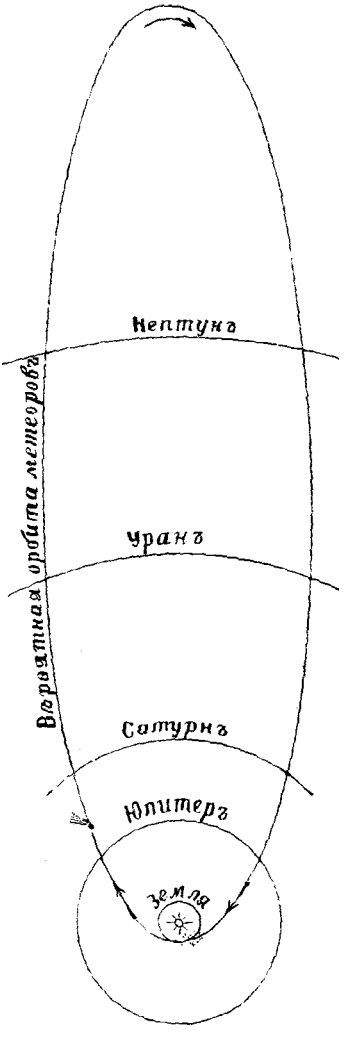


Рис. 178. Орбита Персеидъ и кометы III-ьей 1862 г.

Рис. 179 передаетъ расположеніе орбитъ потоковъ Леонидъ и Персеидъ относительно орбиты земли. Орбита кометы 1862 г. III пере-

сѣкаетъ земную орбиту въ той точкѣ, гдѣ земля бываетъ 10-го августа н. ст. Каждый годъ въ этотъ день и сосѣдніе съ нимъ мы наблюдаемъ большое число метеоровъ потока Персеидъ

Орбита кометы I 1866 г. пересѣкалась съ земной орбитой въ точ-

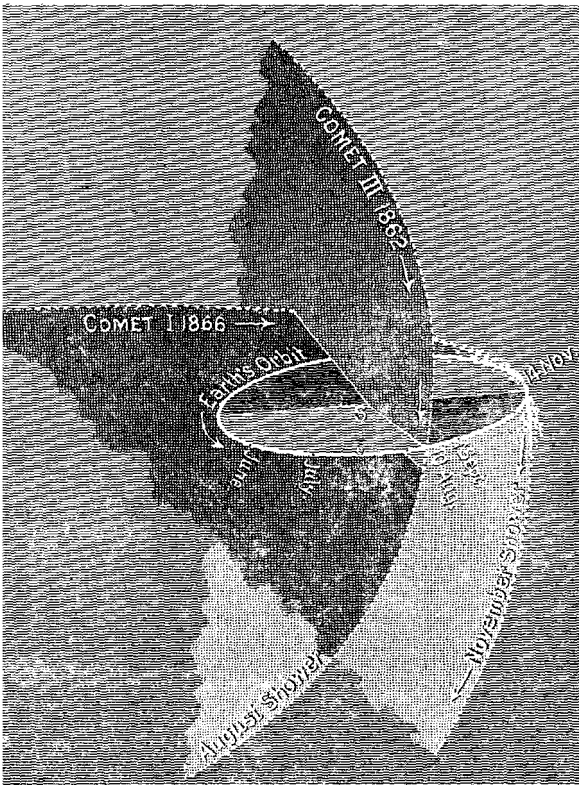


Рис. 179

кѣ, гдѣ земля бываетъ 14 ноября н. ст., но Леониды идутъ густымъ роемъ, и только при встрѣчѣ земли съ этимъ роемъ (черезъ 33 года) наблюдались звѣздные дожди. Въ настоящее время вслѣдствіе возмущеній планетъ рой метеоровъ проходитъ нѣсколько дальше отъ орбиты земли. Въ 1899 г. никакого звѣзднаго дождя поэтому не наблюдалось.

Малосвязное вещество кометы подъ дѣйствіемъ притяженія солнца раздѣляется на отдѣльныя малыя части или все, или отчасти.

Потокъ Андромедидъ, давшій въ 1872 и 1880 годахъ эффектныя явленія звѣздныхъ дождей, образовался отъ разложенія кометы Біелы, которая, повидимому, перестала существовать, какъ комета. Въ другихъ случаяхъ комета можетъ только выбросить извѣстное число частичекъ, которыя пойдутъ по своимъ путямъ, сдѣлавшись при нѣкоторыхъ усло-

віяхъ даже постоянными членами солнечной системы, хотя сама комета удаляется отъ насъ навсегда въ безконечность.

Въ своемъ движеніи около солнца метеоры подвергаются возмущающему вліянію различныхъ планетъ, что скажется на положеніи ихъ радіанта. Эти явленія образованія метеоровъ и ихъ движенія съ большими подробностями разобраны проф. Бредихинымъ.

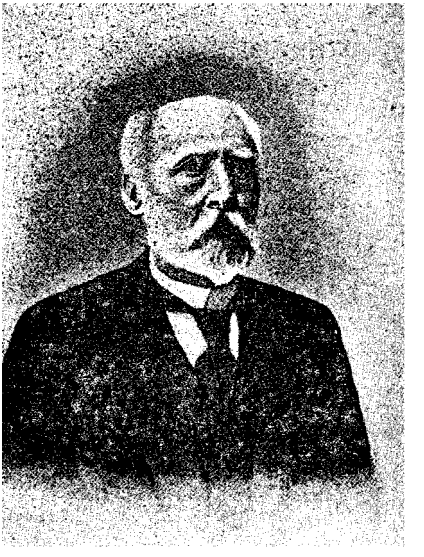


Рис. 180. Ѳеодоръ Александровичъ Бредихинъ.

Проф Ѳ А Бредихинъ (рис. 180) выдающійся изъ русскихъ астрономовъ, работавшій по самымъ разнообразнымъ вопросамъ физической астрономіи. Особенно прославился теоретическими изслѣдованіями кометныхъ формъ и теоріи метеорныхъ потоковъ. Родился Ѳ. А. въ 1831 г., его научная дѣятельность начинается съ 1857 г. въ Москвѣ, съ 1873 по 1890 г. онъ состоялъ проф. Московскаго университета и директоромъ Московской обсерваторіи, въ 1890 г. онъ избранъ былъ членомъ Академіи Наукъ и назначенъ директоромъ Пулковской обсерваторіи, которой и управлялъ до 1895 г. Скончался въ 1904 г., до самой смерти продолжая свои изслѣдованія о строеніи кометъ и падающихъ звѣздахъ.

Глава XXIV **Звѣздный міръ**

Число звѣздъ Невооруженнымъ глазомъ на небѣ видно сравнительно немного звѣздъ тысячи три заразъ, тысячъ шесть на всемъ небѣ кругомъ. Но съ помощью большой астрономической трубы мы видимъ громадное число сотни тысячъ и милліоны звѣздъ. Еще больше даетъ фотографія.

Яркость звѣздъ. Звѣзды по яркости раздѣляются на классы: всѣ наиболѣе яркія, хотя и неодинаковыя по блеску, отнесены къ первому классу и называются звѣздами первой величины, затѣмъ идутъ звѣзды второй величины, примѣромъ которыхъ могутъ служить семь главныхъ звѣздъ Б. Медвѣдицы, далѣе—третьей величины, четвертой и т. д.

Невооруженный глазъ едва различаетъ звѣзды 6-ой величины; фотографія можетъ дать изображенія звѣздъ 16 17 величины. Звѣзда

третьей величины въ $2^1/_2$ раза слабѣе по яркости, чѣмъ звѣзда второй величины, звѣзда четвертой величины слабѣе въ $2^1/_2$ раза звѣзды третьей величины и въ $^{25}/_4$ раза звѣзды второй величины и т. д.

Задача. Во сколько разъ звѣзды 6-й величины и 16-й вел. слабѣе звѣзды второй? **Отв.** Въ 39 разъ и 372390 разъ.

Разстояніе звѣздъ Естественно предположить, что слабыя звѣзды дальше отъ насъ, чѣмъ яркія. Въ общемъ это предположеніе, можетъ быть, вѣрно, но въ отдѣльныхъ случаяхъ мы встрѣчаемъ противорѣчія Болѣе или менѣе точно намъ извѣстны разстоянія всего 30 звѣздъ Разстоянія эти громадны.

Вообще звѣзды такъ далеки отъ насъ, что свѣтъ отъ нихъ идетъ десятки и сотни лѣтъ

Природа звѣздъ. Сопоставляя яркость звѣздъ съ ихъ разстояніемъ, мы сразу приходимъ къ заключенію, что звѣзды представляютъ собой большія самосвѣтящіяся тѣла отраженный свѣтъ не дошелъ бы до насъ на такое огромное разстояніе

Можно разсчитать, какой яркости казалось бы намъ наше солнце, если бы оно было удалено отъ насъ на разстояніе, напримѣръ, звѣзды Капеллы. Оказывается, оно казалось бы намъ маленькой, едва замѣтной звѣздочкой 6-ой величины. Между тѣмъ Капелла ярко сіяетъ, какъ звѣзда 1-ой величины.

Слѣдовательно мы имѣемъ основаніе допустить, что звѣзды-это тѣла, подобныя нашему солнцу, и нѣкоторыя изъ нихъ, вѣроятно, даже превосходятъ его размѣрами.

Еще опредѣленнѣе свидѣтельствуютъ объ этомъ спектры звѣздъ. Хотя эти спектры и очень слабы, но мы ясно узнаемъ въ нихъ такъ называемые спектры поглощенія—это сплошные спектры съ темными фраунгоферовыми линіями, какъ въ спектрѣ солнца.

Звѣздные спектры раздѣляются на три главныхъ класса:

Бѣлыя звѣзды даютъ спектры почти совершенно сплошные, съ небольшимъ числомъ темныхъ (водородныхъ) линій.

Въ спектрахъ желтыхъ звѣздъ линій поглощенія больше, между ними много линій металловъ.

Въ спектрахъ красныхъ звѣздъ вмѣсто отдѣльныхъ линій поглощенія являются цѣлыя темныя полосы.

Въ соотвѣтствіи съ этимъ устанавливаются такія стадіи въ развитіи звѣзды:

1) Бѣлая, наиболѣе накаленная звѣзда, съ легкой водородной атмосферой.

2) Нѣсколько охладившаяся желтая звѣзда, въ густой атмосферѣ которой уже плаваютъ пары тяжелыхъ металловъ.

3) Еще болѣе охладившаяся красная звѣзда съ плотной атмосферой, въ которой происходитъ поглощеніе весьма многихъ лучей.

4) Совсѣмъ охладившаяся звѣзда, покрывшаяся корой темное солнце.

Весьма интересно, что спектръ желтой звѣзды Капеллы (альфа Возничаго) по своему строенію совершенно подобенъ спектру нашего солнца. Такимъ образомъ, наше дневное свѣтило есть желтая звѣзда; оно, повидимому, уже охладилось нѣсколько, находится на второй ступени къ своей погибели. Но, конечно, охлажденіе солнца происходитъ постепенно и медленно, должны пройти милліоны лѣтъ прежде, чѣмъ оно изъ одной стадіи перейдетъ въ другую.

Собственныя движенія звѣздъ.—Звѣзды, въ отличіе отъ планетъ, называются неподвижными, потому что онѣ видимо не измѣняютъ своего положенія относительно другъ друга. Тѣмъ не менѣе, точныя наблюденія обнаруживаютъ, что многія звѣзды имѣютъ небольшія перемѣщенія какъ на небѣ по дугѣ большого круга, такъ и по лучу зрѣнія, т. е. нѣсколько приближаются или удаляются отъ насъ. Смѣщенія по лучу зрѣнія измѣряются десятками километровъ въ секунду. Что касается смѣщенія по дугѣ большого круга на небѣ, то въ общемъ случаѣ мы не можемъ выразить ихъ линейными мѣрами, потому что не знаемъ разстоянія многихъ звѣздъ, мы выражаемъ ихъ дугой—это нѣсколько секундъ дуги или даже долей секунды въ годъ. Смѣщеніе это становится ощутительнымъ только за большой періодъ времени. Въ верхней части рис. 181-го указаны стрѣлками направленія собственнаго движенія главныхъ звѣздъ Б. Медвѣдицы. Внизу мы имѣемъ фигуру, которую принялъ бы ковшикъ Б. Медвѣдицы черезъ 40000 лѣтъ въ зависимости отъ собственнаго движенія звѣздъ, его составляющихъ.

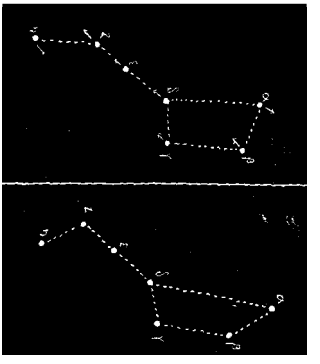


Рис. 181. Большая Медвѣдица теперь и черезъ 40000 лѣтъ въ зависимости отъ собственнаго движенія звѣздъ.

Движеніе солнечной системы въ пространствѣ. Несмотря на разнообразіе въ смѣщеніяхъ звѣздъ, сумѣли выдѣлить въ нихъ нѣчто общее, являющееся отраженіемъ движенія нашей земли вмѣстѣ съ солнцемъ. Вспомните, какъ для вашихъ глазъ несутся назадъ телеграфные столбы и сторожевыя будки, когда вы ѣдете въ поѣздѣ желѣзной дороги и смотрите въ окно съ дивана. Точно такъ же и смѣщеніе солнца въ пространствѣ вызываетъ кажущееся смѣщеніе звѣздъ. Изслѣдуя эти смѣщенія для большого числа звѣздъ, можно было выяснить, что солнце не сохраняетъ своего положенія относительно звѣздъ. Оно несется, увлекая съ собой всѣ планеты и кометы, находящіяся въ солнечной системѣ, по направленію къ созвѣздію Геркулеса.

Луна, обходя землю, движется вмѣстѣ съ нею вокругъ солнца. Подобнымъ образомъ и планеты, совершая свои правильныя обращенія около солнца, перемѣщаются вмѣстѣ съ нимъ въ пространствѣ въ ту сторону, гдѣ сіяютъ звѣзды, которыя мы относимъ къ созвѣздію Геркулеса.

Двойныя звѣзды. Извѣстно много звѣздъ, которыя въ трубѣ раздѣляются на двѣ (рис. 182) Для нѣкоторыхъ паръ можно установить,

что одна звѣзда движется около другой (рис. 183). Въ такихъ случаяхъ мы имѣемъ дѣло со сложной системой, состоящей изъ двухъ солнцъ.

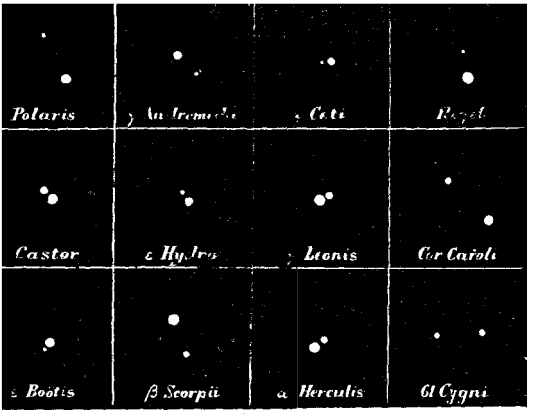


Рис. 182.—Двойныя звѣзды въ астрономической трубѣ.

Особенное вниманіе на двойныя звѣзды обратилъ В. Гершель въ началѣ XIX ст. Имъ было открыто нѣсколько сотъ паръ. Еще больше открытій было сдѣлано послѣ въ Дерптѣ астрономомъ В. Струве, который кромѣ того опредѣлилъ положеніе на небѣ всѣхъ открытыхъ имъ двойныхъ звѣздъ и измѣрилъ чрезвычайно точно относительныя положенія составляющихъ въ каждой парѣ для цѣлаго ряда лѣтъ.

Въ настоящее время намъ извѣстно нѣсколько тысячъ двойныхъ, открыто нѣсколько тройныхъ и вообще кратныхъ звѣздъ, такъ что наша солнечная система, въ которой одно главное тѣло, одно солнце, уже не можетъ считаться типичной системой для всей массы міровъ во вселенной.

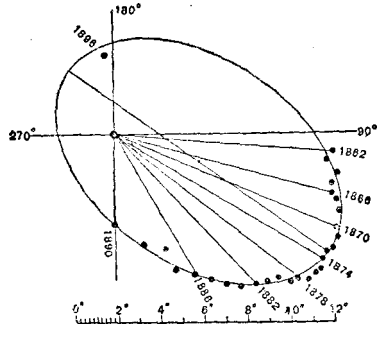


Рис. 183.—Видимый путь спутника около главной звѣзды въ системѣ Сиріуса.

Перемѣнныя звѣзды. Есть въ созвѣздіи Персея звѣзда по имени Альголь (бета Персея), блескъ которой періодически колеблется. Въ теченіе 2 дней 11 часовъ эта звѣзда второй величины, потомъ яркость ея начинаетъ постепенно уменьшаться, въ теченіе $4^1/_2$ часовъ падаетъ почти до 4-й велич. и затѣмъ вновь увеличивается. Это одна изъ типичныхъ перемѣнныхъ звѣздъ. Послѣдить за измѣненіемъ ея блеска можно посовѣтовать каждому *).

Въ настоящее время извѣстно много другихъ звѣздъ, яркость которыхъ измѣняется. Въ однихъ случаяхъ колебанія блеска происходятъ періодически, въ другихъ они неправильны. Для насъ они интересны въ томъ отношеніи, что даютъ указанія на особенности въ природѣ и строеніи звѣздъ. Такъ, несомнѣнно, что Альголь не простая звѣзда, а система двухъ тѣлъ, изъ которыхъ одно темное. Когда это

*) Въ Р.-Астр. Календ. и Астрон. Ежегодникѣ даются моменты минимума блеска Альголя и другихъ перемѣнныхъ звѣздъ.

темное тѣло проходитъ между главной яркой звѣздой и нами, мы наблюдаемъ потемнѣніе Альголя. Когда темный спутникъ прошелъ уже мимо, блескъ Альголя опять прежній (рис. 184)

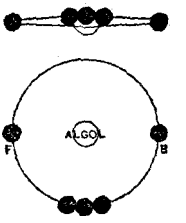


Рис. 184 Система Альголя. Верхній рисунокъ представляетъ видъ орбиты спутника, если наблюдатель находится приблизительно въ ея плоскости

Новыя звѣзды Иногда на небѣ вдругъ появляются звѣзды, которыхъ не было раньше.

Въ исторіи астрономіи особенно замѣчательна звѣзда, которую замѣтилъ въ 1572 году Тихо-де-Браге. Ея яркость, быстро увеличиваясь, сравнялась съ яркостью Венеры. Въ февралѣ 1901 г. въ созвѣздіи Персея была видна звѣзда, которая по яркости превзошла Капеллу. Нѣсколько новыхъ звѣздъ наблюдалось болѣе слабыхъ.

Ихъ называютъ новыми, но лучше было бы назвать ихъ временными, потому что, вспыхнувши на небѣ, онѣ не остаются видимыми долго, а, постепенно ослабѣвая въ блескѣ, черезъ нѣсколько мѣсяцевъ вновь исчезаютъ отъ нашихъ взоровъ совершенно

Весьма вѣроятно, что это уже потухшія звѣзды, покрывшіяся корой, но еще не плотной корой. Подъ дѣйствіемъ различныхъ причинъ (напримѣръ, прохожденія вблизи другого тѣла) кора эта лопается, наружу выбрасываются газы, которые сгорая и производятъ для насъ явленіе звѣзды. Но, когда сгорятъ продукты, вылившіеся на поверхность, звѣзда опять потухаетъ и исчезаетъ отъ нашихъ взоровъ.

Звѣздныя скопленія и туманности.—Двойныя и кратныя звѣзды представляютъ сложныя системы солнцъ. Но есть системы, въ составъ которыхъ входятъ еще больше—сотни и тысячи солнцъ. Примѣромъ такихъ звѣздныхъ скопленій могутъ служить Плеяды. Это всѣмъ извѣстная кучка звѣздъ въ созвѣздіи Тельца въ миніатюрѣ Б. Медвѣдица; невооруженнымъ глазомъ мы видимъ въ ней 7 8 звѣздъ, въ трубѣ представляется ихъ цѣлая масса.

В. Гершель, изслѣдуя небо своими свѣтосильными рефлекторами (рис. 185, см. примѣчаніе на стр. 21-ой), открылъ цѣлый рядъ такихъ звѣздныхъ скопленій, правильнаго шарообразнаго вида и безформенныхъ (рис. 186 и 187). Онъ нашелъ также много матовыхъ туманныхъ пятенъ, т. наз. туманностей.

Однѣ изъ этихъ туманностей представляютъ отдаленныя звѣздныя скопленія, въ которыхъ мы не можемъ различить отдѣльныхъ звѣздъ (рис. 188), другія массы еще неуплотненной, первобытной матеріи. Съ теченіемъ времени такія туманности, постепенно сгущаясь, могутъ образовать звѣзду или цѣлое звѣздное скопленіе. На рис. 189 мы имѣемъ спиральную туманность съ двумя центрами сгущенія, на рис. 190 видны остатки первобытной матеріи, изъ которой сформировались звѣзды Плеядъ.

Млечный путь Въ темную, ясную ночь видна на небѣ широкая матовая полоса, которая тянется черезъ созвѣздія: М. Пса, Оріона Близнецовъ, Возничаго, Персея, Кассіопеи, Цефея, Лебедя, Лиры, Орла,

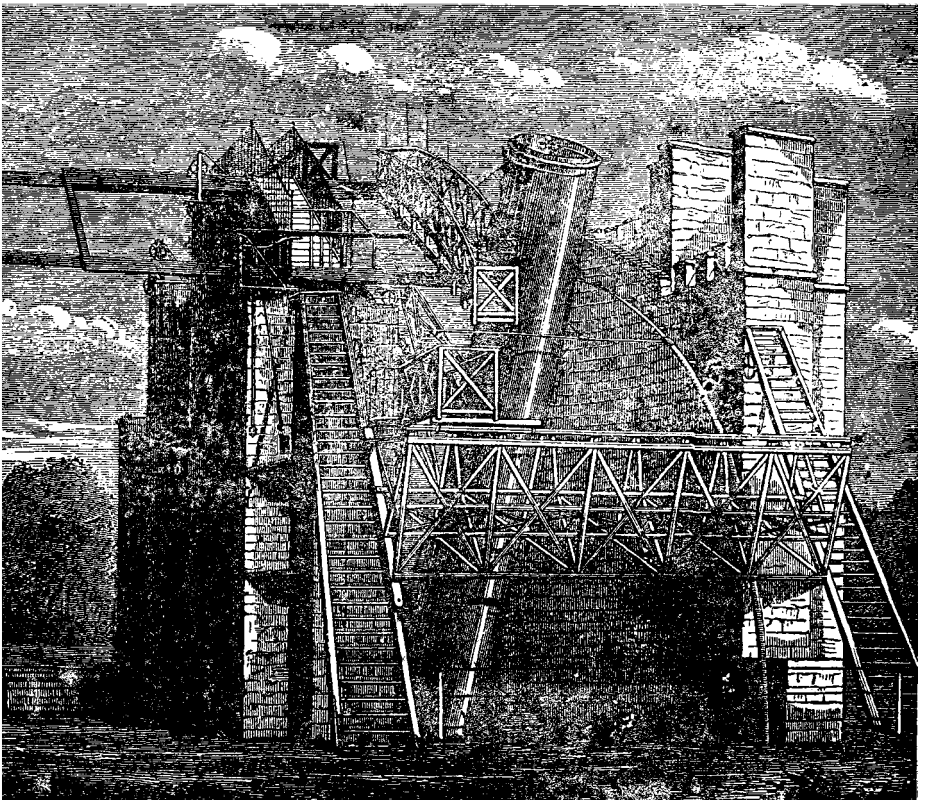


Рис. 185. Гигантскій рефлекторъ лорда Росса

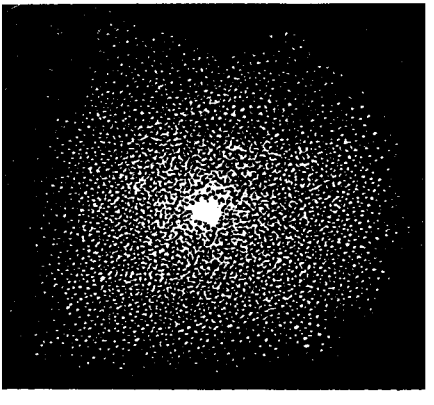


Рис 186 Звѣздноэ скопленіе въ Геркулесѣ

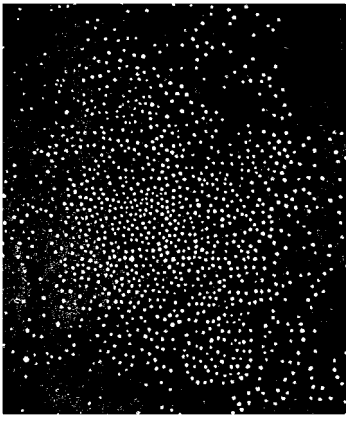


Рис. 187. Звѣздное скопленіе въ созвѣздіи Водолея

Змѣедержца и носитъ названіе Млечнаго пути. Полоса эта какъ о азывается, представляетъ скопленіе огромнаго числа очень мелкихъ звѣздъ (рис. 191).

Въ нѣкоторыхъ мѣстахъ видны еще остатки первобытной туманной массы, а рядомъ часто черное пустое пространство (по выраженію Гершеля, у г о л ь н ы й м ѣ ш о к ъ); иногда въ туманности можно видѣть черный рукавъ, каналъ, въ глубинѣ котораго яркая звѣзда — какъ будто бы она пронизала туманную массу и забрала съ собой всю бывшую на дорогѣ матерію.

Гершель считалъ всѣ видимыя нами на небѣ звѣзды въ соединеніи съ Млечнымъ путемъ, какъ бы за одну большую звѣздную систему, внутри которой почти въ центрѣ находится наше солнце со своими планетами, какъ одна изъ звѣздъ, входящихъ въ его составъ.

Рис. 188. Туманность Андромеды по фотографіи

Вильгельмъ Гершель (рис. 192) своими свѣтосильными инструментами пронизывалъ глубины мірового пространства. Это астрономъ-философъ и поэтъ, съ восторгомъ осматривавшій небо и философски обобщавшій свои удивительныя открытія. Сначала Гершель занимался астрономіей исключительно по любви, будучи по профессіи музыкантомъ. Онъ самъ шлифовалъ зеркала своихъ рефлекторовъ. Родился въ 1738 г. въ Ганноверѣ, но работалъ главнымъ образомъ въ Англіи гдѣ получилъ званіе королевскаго астронома. Скончался въ 1822 г.

Строеніе вселенной —Планета со своими спутниками составляетъ систему перваго порядка. Солнце со всѣми планетами и кометами, которыя движутся вокругъ него, представляетъ уже болѣе сложную

систему 2-го порядка, размѣры которой во много разъ пре-

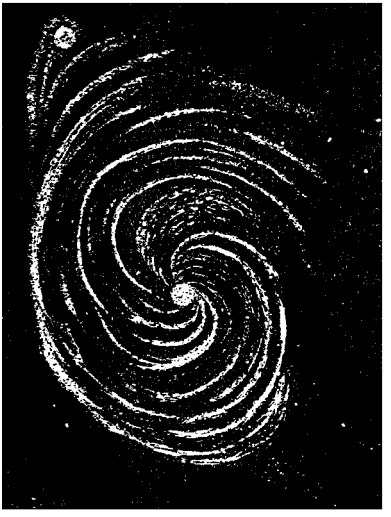


Рис. 189. Спиральная туманность въ созвѣздіи Гончихъ Собакъ

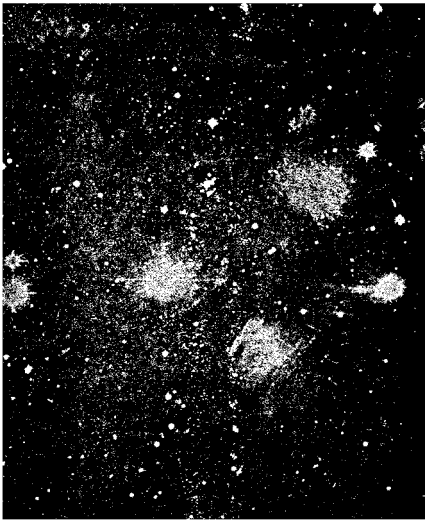


Рис. 190.—Туманности около звѣздъ въ Плеядахъ.

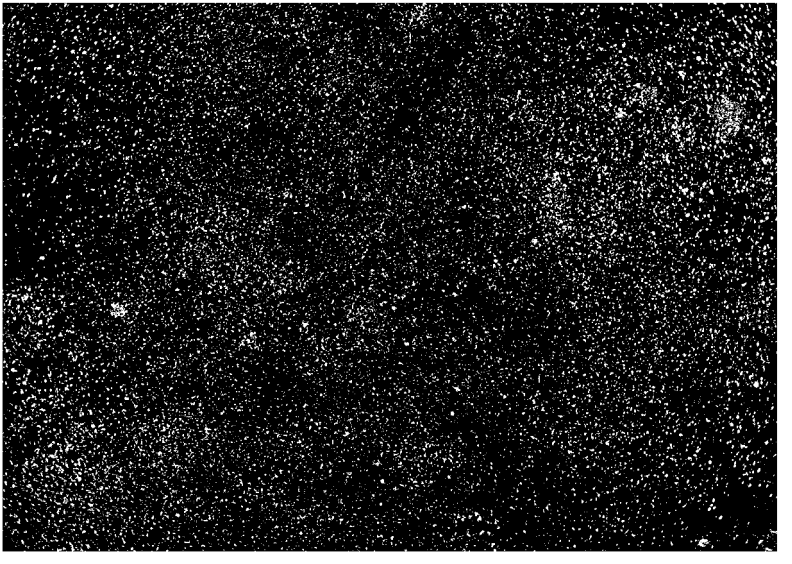


Рис 191 —Млечный путь по фотографіи Барнарда.

восходятъ размѣры системъ 1-го порядка Иногда въ одной системѣ

являются два, три четыре и болѣе солнца. Всѣ видимыя нами звѣзды, находясь на громадныхъ разстояніяхъ другъ отъ друга, соединяются въ одну систему, которая можетъ быть названа нами системой 3-го порядка. Въ ней громадныя солнца являются лишь точками, свѣтъ отъ одного конца до другого идетъ сотни лѣтъ, тогда какъ солнечную систему онъ проходитъ только въ 8 часовъ, а отъ луны до земли идетъ всего $1^1/_4$ секунды.

Рис. 192. Вильгельмъ Гершель

Астрономія, кромѣ практическихъ приложеній въ жизни человѣка, имѣетъ для насъ то громадное значеніе, что даетъ основу нашему міровоззрѣнію, выясняетъ отношеніе міровъ другъ къ другу и рисуетъ общую картину ихъ жизни, возникновеніе изъ первобытнаго тумана, уплотненіе въ накаленныя солнца, отдѣленіе планетъ и постепенное охлажденіе, путь къ гибели, неизбѣжному концу.

По мѣрѣ накопленія знаній, наши воззрѣнія нѣсколько измѣняются. На ряду со спеціальными астрономическими изслѣдованіями при этомъ имѣютъ существенное значеніе успѣхи физики и химіи

Приложеніе первое

Эллипсъ Возьмите обручъ, держите его параллельно бѣлой стѣнѣ и освѣтите лампой безъ абажура вы увидите на стѣнѣ кругъ, подобный вашему обручу Но попробуйте нагнуть обручъ, тогда тѣнь уже не будетъ въ видѣ круга и окажется нѣсколько сжата. Получится контуръ, который называется эллипсомъ. Эллипсъ, такимъ образомъ, является проекціей круга.

Какъ окружность мы можемъ начертить циркулемъ, такъ и эллипсъ можно вычертить непрерывнымъ движеніемъ, натягивая карандашомъ нитку, концы которой укрѣплены въ двухъ точкахъ фокусахъ эллипса (рис. 193) Окружность есть кривая, въ которой разстояніе каждой точки отъ центра одно и то же; въ эллипсѣ по-

стоянна сумма разстояній каждой точки отъ двухъ опредѣленныхъ точекъ, такъ называемыхъ фокусовъ (F и F_1 на рис. 194)

Наибольшій діаметръ эллипса зовется большой осью; обозначимъ

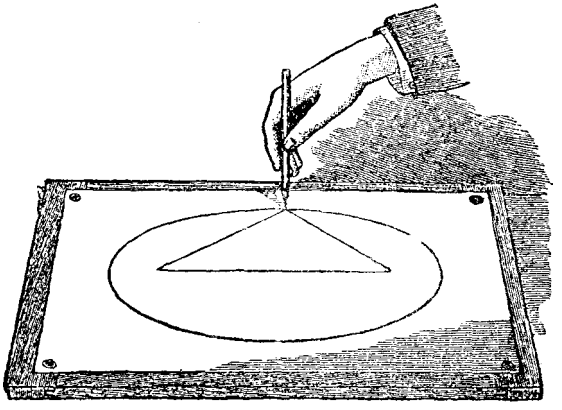


Рис. 193.—Черченіе эллипса непрерывнымъ движеніемъ.

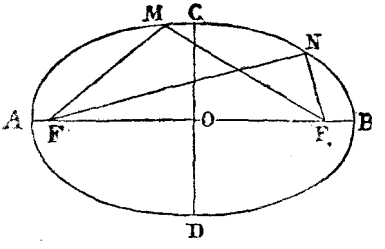


Рис. 194.

ее черезъ $2a$; перпендикулярный, наименьшій діаметръ зовется малой осью $2b$.

Фокусы лежатъ на большой оси и удалены отъ центра на одинаковое разстояніе $= \sqrt{a^2-b^2}$

Отношеніе $\frac{\sqrt{a^2-b^2}}{a} = e$ называется эксцентриситетомъ

Очевидно, чѣмъ меньше b сравнительно съ a, тѣмъ больше e. Такимъ образомъ, эксцентриситетъ характеризуетъ вытянутость эллипса. Окружность—частный случай эллипса, когда всѣ діаметры равны. Эксцентриситетъ круга = нулю Если $b = a$, то имѣемъ $e = \frac{\sqrt{a^2-a^2}}{a} = 0$

Парабола. Если b сохраняетъ свою величину, но a увеличивается, то получается эллипсъ все болѣе и болѣе вытянутый. При $a =$ безконечности получается кривая, центръ которой и одинъ изъ фокусовъ въ безконечности, слѣдовательно, кривая разомкнутая, своими вѣтвями уходящая въ безконечность. Но эта кривая, называемая параболой, есть тоже частный случай эллипса. Для нея эксцентриситетъ = единицѣ. Если $a = \infty$,

$$\text{то } e = \frac{\sqrt{a^2-b^2}}{a} = \sqrt{\frac{a^2-b^2}{a^2}} = \sqrt{1-\frac{b^2}{a^2}} = 1$$

Гипербола. Есть кривая, которая на первый взглядъ похожа на параболу, но только сравнительно еще болѣе раскрытая гипербола По такой кривой движутся нѣкоторыя кометы и метеоритъ, когда онъ летитъ на землю.

Коническія сѣченія. Возьмемъ прямой, круглый конусъ. Каждое сѣченіе его, перпендикулярное оси, будетъ кругъ, сѣченіе наклонное эллипсъ, сѣченіе плоскостью, параллельной образующей конуса, дастъ параболу, сѣченіе плоскостью, параллельной высотѣ гиперболу

Поэтому кругъ, эллипсъ, парабола и гипербола носятъ названія вообще коническихъ сѣченій (рис. 195)

Такимъ образомъ, можно сказать, что небесныя тѣла движутся вообще по коническимъ сѣченіямъ

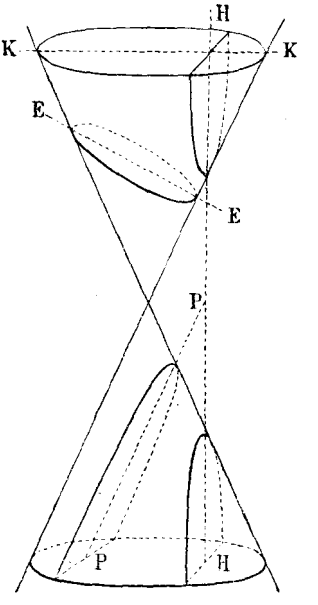


Рис. 195.—Коническія сѣченія: К—кругъ, Е—эллипсъ, Р—парабола, Н-Н—двѣ вѣтви гиперболы.

Эллипсоидъ замкнутая поверхность, которая въ пересѣченіи съ плоскостью даетъ эллипсъ или кругъ

Въ общемъ случаѣ эллипсоидъ имѣетъ три неравныя оси. Будемъ называть большую черезъ a, среднюю—черезъ b, меньшую—черезъ c (рис. 196).

Если представить себѣ, что эллипсъ ABA_1 вращается около оси AA_1, то получится эллипсоидъ вращенія, у котораго всѣ сѣченія, перпендикулярныя оси AA_1, будутъ круги.

Если дуга эллипса BAB_1 будетъ вращаться около оси BB_1, то будемъ имѣть эллипсоидъ вращенія, у котораго сѣченія, перпендикулярныя оси BB_1,—круги. Такую форму имѣютъ, между прочимъ, планеты: BB_1 ось вращенія, плоскость ACA_1C_1 экваторъ

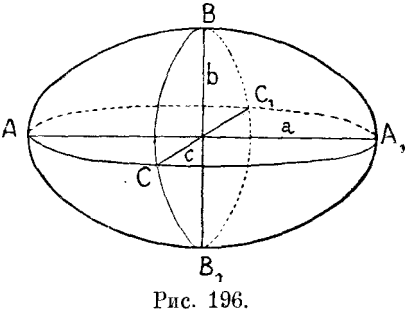


Рис. 196.

Въ этомъ случаѣ $a = c$, но b меньше a.

Величина $\frac{a-b}{a}$ называется сжатіемъ эллипсоида вращенія около малой оси b. Чѣмъ больше разность $a - b$, тѣмъ болѣе сжатъ эллипсоидъ.

Когда всѣ три оси одинаковы: $a = b = c$, то имѣемъ шаръ, который, такимъ образомъ, является частнымъ случаемъ эллипсоида.

Въ каждой точкѣ шара перпендикуляръ къ касательной плоскости проходитъ черезъ центръ.

Въ эллипсоидѣ нормаль вообще не проходитъ черезъ центръ (исключенія представляютъ точки $AA_1BB_1CC_1$).

Приложеніе второе.

Практическія упражненія по космографіи

1) Прослѣдить послѣдовательное освѣщеніе высокихъ зданій лучами восходящаго солнца.

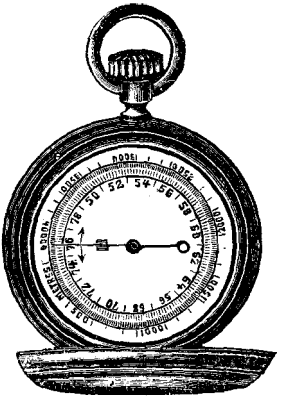


Рис. 197. Барометръ-высотомѣръ. Разность показаній стрѣлки внизу зданія и наверху даетъ высоту подъема.

2) Опредѣлить приближенно размѣры земного шара. Поднимемся въ верхній этажъ большого зданія или еще лучше на высокую колокольню. Замѣтимъ озеро или поселокъ, которые видны на горизонтѣ. По картѣ*) выясняемъ разстояніе выбранной нами точки. Кромѣ того, опредѣлимъ высоту, на которой находимся. Это можно сдѣлать различнымъ способомъ. Напримѣръ:

1) спуская сверху длинную веревку съ грузомъ,

2) по барометру-высотомѣру (рис. 197),

3) съ помощью универсальнаго инструмента (см. ниже стр. 152).

Пусть высота колокольни — h, разстояніе выбранной точки отъ колокольни — d. Съ достаточнымъ приближеніемъ разстояніе DB (рис. 8) можно считать равнымъ AB. Тогда, обозначая радіусъ земного шара черезъ x, имѣемъ изъ $\triangle$-ка AOB по теоремѣ Пиѳагора соотношеніе:

$$(x+h)^2 = x^2 + d^2,$$

откуда

$$x^2 + 2xh + h^2 = x^2 + d^2$$

и

$$x = \frac{d^2 - h^2}{2h}$$

или

$$x = \frac{(d+h)\ (d-h)}{2h}$$

Примѣръ: высота $h = 11$ саженъ, разстояніе $d = 16$ верстамъ. Такъ какъ 16 верстъ $= 8000$ саж., то

$$x = \frac{8011.7989}{22} \text{ саж.} = \frac{8011.7989}{22.500} \text{ верстъ} = 5818 \text{ верстъ.}$$

3) Вычислить впередъ радіусъ горизонта, видимаго съ опредѣленной высоты, и провѣрить по наблюденіямъ.

Пусть высота поднятія—h.
Радіусъ земного шара—6000 верстъ.
Искомый радіусъ видимаго горизонта—x
Изъ $\triangle$-ка AOB (рис. 8)

$$x^2 = (6000+h)^2 - (6000)^2$$
$$x^2 = (12000+h).h.$$

*) Подробная карта въ масштабѣ 3 версты въ дюймѣ, изданія Генеральнаго Штаба продается по 50 к. листъ.

Такъ какъ h въ нашемъ случаѣ всего нѣсколько саженъ, т. е. малая часть версты, то пренебреженіе этой величины подъ скобками большого вліянія не окажетъ. Съ достаточнымъ приближеніемъ можно принять

$$x = \sqrt{12000 \cdot h}.$$

Примѣръ 1: высота колокольни $h = 11$ саж. $= \frac{11}{500}$ верстъ

Радіусъ видимаго горизонта

$$x = \sqrt{12000 \cdot \frac{11}{500}} \text{ верстъ} = \sqrt{12 \cdot 22} \text{ верстъ} = \sqrt{264} \text{ верстъ} =$$

$= 16$ верстъ.

Примѣръ 2: высота, на которой находится наблюдатель, 4 саж.

Радіусъ видимаго горизонта

$$x = \sqrt{12000 \cdot \frac{4}{500}} \text{ верстъ} = \sqrt{96} \text{ верстъ} = 10 \text{ верстъ}$$

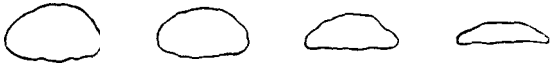
4) Зарисовать форму заходящаго солнца.

Въ общемъ случаѣ это будетъ овалъ, какъ на рисункѣ 11, но въ нѣкоторыхъ случаяхъ вслѣдствіе особой влажности или вѣтра наблюдаются различнаго рода неправильности, какъ на рисункахъ 198 и 199.

7 ч. 30 м. 30 с. 7 ч. 31 м. 0 с. 7 ч. 31 м. 55 с. 7 ч. 33 м. 25 с.
Іюля 9-го.
Рис. 198.

5) Сравнить яркость и цвѣтъ главныхъ звѣздъ въ созвѣздіяхъ Возничаго, Лиры и Тельца.

6) Нанести на карту положеніе яркой планеты по собственному наблюденію и сдѣлать то же самое недѣли черезъ двѣ, три и т. д.



7 ч. 13 м. 15 с. 7 ч. 13 м. 40 с. 7 ч. 14 м. 30 с. 7 ч. 15 м. 0 с.
Августа 6-го
Рис. 199.

7) Зарисовать по собственному наблюденію расположеніе относительно горизонта семи главныхъ звѣздъ Б. Медвѣдицы въ 8 час. вечера и въ 12 час. ночи

Примѣръ: рис. 200 и рис. 201.

8) Указать звѣзды въ верхней и въ нижней кульминаціяхъ.

9) Съ помощью двухъ вертикальныхъ шестовъ отмѣтить направленіе меридіана въ саду или на дворѣ.

Шестъ, длиною 3 –4 аршина, толщиной 1 дюймъ или 1 вершокъ, заостренный съ одного конца, втыкаемъ въ землю такъ, чтобы направленіе его точно совпадало съ направленіемъ нитки съ грузомъ.

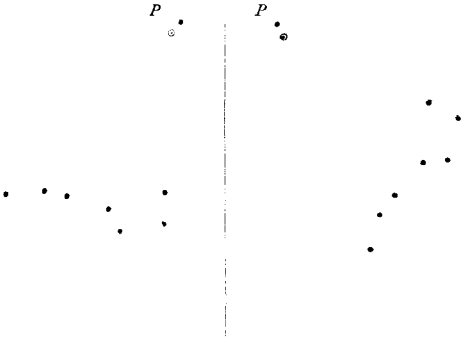


Рис. 200.
въ 8 час. веч.

Рис. 201.
въ 12 час. ночи.

Въ солнечный день шестъ отбрасываетъ тѣнь. Кратчайшая тѣнь даетъ направленіе полуденной линіи. Вдоль этой линіи въ разстояніи 1—$1^1/_2$ саж. втыкаемъ въ землю второй шестъ, подобный первому, и также вывѣряемъ его перпендикулярность къ горизонту съ помощью отвѣса. Плоскость, проходящая черезъ оси шестовъ, и представитъ намъ съ той или другой степенью точности плоскость меридіана.

10) Замѣтить по часамъ моментъ, когда альфа Б. Медвѣдицы будетъ въ нижней кульминаціи (рис. 202). Разсчитать, черезъ сколько времени послѣ этого будетъ въ верхней кульминаціи альфа Андромеды и провѣрить по собственнымъ наблюденіямъ *).

Отв. Черезъ 1 часъ 6 мин.

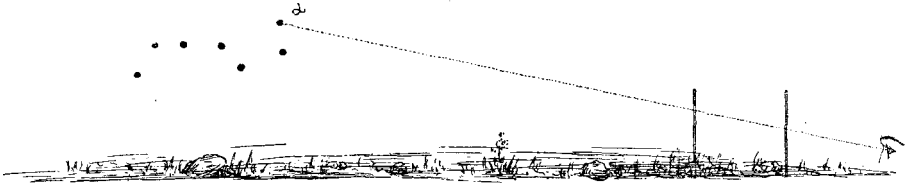


Рис. 202.

11) Наблюденія съ помощью универсальнаго инструмента.

a) Универсальный инструментъ имѣетъ два круга—одинъ для измѣренія горизонтальныхъ, другой—для измѣренія вертикальныхъ угловъ (рис. 29) Онъ устанавливается на прочномъ каменномъ столбѣ или привинчивается къ треногѣ, ножки которой втыкаются заостренными концами въ землю.

Для точной установки инструмента пользуются уровнемъ.

b) Уровень—трубка, внутренняя поверхность которой шлифуется по дугѣ круга. Трубка эта наполняется эѳиромъ, но не вполнѣ, а такъ, что остается небольшой пузырекъ воздуха. Если ось уровня горизон-

*) *Прямыя восхожденія звѣздъ даны ниже въ таблицѣ „Положенія главнѣйшихъ звѣздъ, звѣздныхъ скопленій и туманностей“*

тальна, пузырекъ стоитъ по серединѣ трубки (рис. 203). Если ось наклонна, пузырекъ смѣщается въ сторону и именно въ ту, гдѣ конецъ оси выше. Винтъ *a* служитъ для того, чтобы поднимать или опускать соотвѣтствующій конецъ оси уровня.

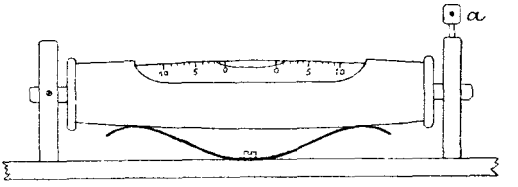


Рис. 203.

c) Сѣтка нитей. Въ окулярной части трубы универсальнаго инструмента натягивается нѣсколько тонкихъ паутинныхъ нитей*). Передъ установкой инструмента наблюдатель долженъ провѣрить, достаточно ли ясно видны эти нити. Если этого нѣтъ, то, вдвигая осторожно рукою маленькую окулярную трубочку, онъ долженъ добиться вполнѣ рѣзкаго, отчетливаго изображенія. Для каждаго глаза, конечно, своя установка по фокусу. Послѣ при наблюденіяхъ звѣзды или земного предмета, не трогая рукою окуляра отдѣльно, перемѣщаютъ съ помощью зубчатки всю окулярную часть трубы до тѣхъ поръ, пока изображеніе наблюдаемаго предмета не станетъ вполнѣ отчетливо. Что касается звѣзды, то она должна имѣть видъ не расплывчатаго кружочка, а рѣзкой болѣе или менѣе яркой точки.

d) Освѣщеніе поля зрѣнія. Для того, чтобы нити могли быть видимы при наблюденіяхъ звѣздъ ночью, на оправу объектива трубы надѣваютъ колечко съ маленькимъ зеркальцемъ, которое освѣщаютъ сбоку фонаремъ. Зеркальце отбрасываетъ въ трубу лучи, падающіе на него отъ фонаря, и освѣщаетъ поле, такъ что въ немъ рѣзко выясняются темныя нити. Но такъ какъ зеркальце мало, то оно лишь отчасти задерживаетъ лучи отъ звѣзды, такъ что и послѣдняя вполнѣ ясно видна на свѣтломъ фонѣ. Впрочемъ, если звѣзда слаба, то, поворачивая колечко съ зеркальцемъ въ ту или другую сторону, можно сдѣлать освѣщеніе поля по желанію слабѣе такъ, чтобы звѣзда не пропадала для глаза. Если нѣтъ зеркальца, то можно къ оправѣ объектива привязать узкую полоску бѣлаго картона и нагнуть ее такъ, чтобы она отражала свѣтъ фонаря внутрь трубы.

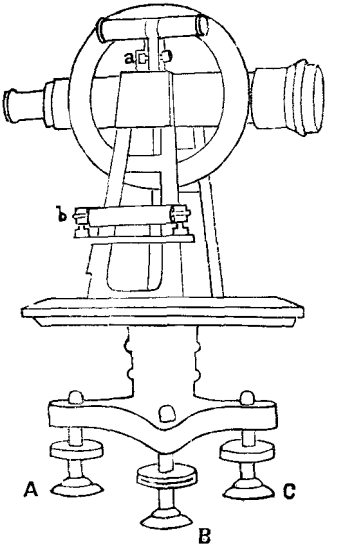


Рис. 204.

e) Установка инструмента производится слѣдующимъ образомъ.

Поворачиваемъ верхнюю часть инструмента такъ, чтобы ось уровня проходила надъ однимъ изъ трехъ винтовъ, на которыхъ стоитъ инструментъ, напр. A (рис. 204).

Дѣйствуя этимъ винтомъ, приводимъ пузырекъ уровня на середину

Потомъ поворачиваемъ верхнюю часть инструмента на 180°

*) Иногда вмѣсто паутинныхъ нитей вставляется стеклянная пластинка, на которой нарѣзаны тонкія линіи

Въ общемъ случаѣ пузырекъ смѣстится. Возвращаемъ его на середину дѣйствуя на половину винтомъ ножки инструмента, а на половину винтомъ при уровнѣ (винтъ *a* для верхняго уровня, винтъ *b*– если установка производится по нижнему уровню)

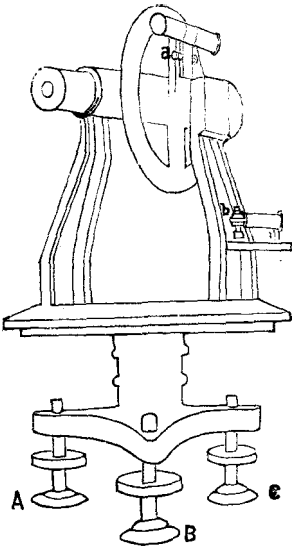


Рис. 205.

Эту операцію приходится повторить нѣсколько разъ, пока пузырекъ уровня не будетъ оставаться по серединѣ при обоихъ положеніяхъ инструмента.

Послѣ этого поворачиваемъ верхнюю часть инструмента на 90^0 такъ, что ось уровня становится по направленію двухъ другихъ винтовъ инструмента *B* и *C* (рис. 205), и, не трогая винта уровня, приводимъ пузырекъ на середину, дѣйствуя двумя этими винтами *B* и *C* въ разныя стороны, т. е. одинъ ввинчивая, а другой вывинчивая.

f) Наведеніе трубы Труба можетъ вращаться около горизонтальной оси, при чемъ большія грубыя перемѣщенія мы производимъ рукой, болѣе же точную установку можно сдѣлать съ помощью особаго микрометрическаго винта, предварительно закрѣпивши трубу Точно такъ же и поворотъ верхней части инструмента производится грубо на большой уголъ рукою, а на малый уголъ — микрометрическимъ винтомъ послѣ того, какъ инструментъ закрѣпленъ.

Труба, конечно, даетъ обратныя изображенія.

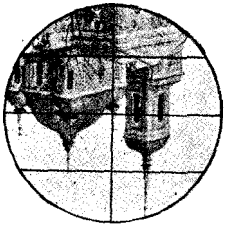


Рис. 206.

Звѣзду или выбранную точку въ наблюдаемомъ предметѣ всегда устанавливаютъ въ середину поля, отмѣченную пересѣченіемъ нитей (рис. 206)

g) Отсчеты на вертикальномъ и горизонтальномъ кругахъ производятся съ помощью ноніусовъ.

Положимъ, напримѣръ, кругъ раздѣленъ на градусы, а каждый градусъ на три части, такъ что дуга между двумя дѣленіями круга соотвѣтствуетъ углу въ 20′

Пусть нуль ноніуса стоитъ такъ, какъ на рис. 207. Тогда отсчетъ, соотвѣтствующій этому положенію нуля ноніуса, бу-

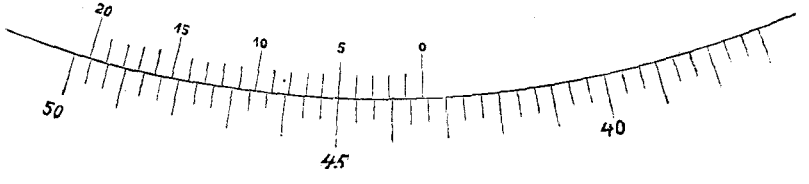


Рис. 207.

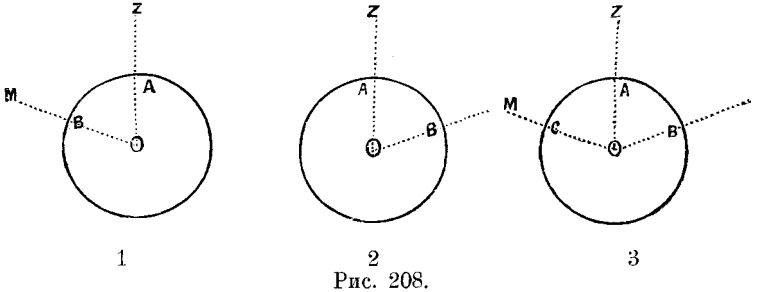
детъ, очевидно, $43^020'$ + небольшая часть одного интервала на кругѣ Чтобы оцѣнить эту часть интервала въ минутахъ, смотримъ, какое дѣле-

ніе ноніуса совпадаетъ съ дѣленіемъ круга. Въ нашемъ случаѣ совпадающимъ можно принять пятое или шестое дѣленіе. Поэтому точный отсчетъ, соотвѣтствующій данному положенію нуля ноніуса, будетъ $43^0 2{,}5$ или $43^0 26'$.

При поворотѣ трубы нулю ноніуса будетъ соотвѣтствовать новый отсчетъ.

Чтобы точнѣе опредѣлить, какое дѣленіе совпадаетъ съ дѣленіемъ круга, надо хорошо установить по глазу лупу и всегда держать разсматриваемые штрихи въ серединѣ поля зрѣнія.

h) Опредѣленіе точки зенита. Установивши съ помощью уровня инструментъ, направляемъ трубу на какой-нибудь земной предметъ M (рис. 208_1) и производимъ отсчетъ по одному изъ ноніусовъ. Потомъ поворачиваемъ верхнюю часть инструмента на 180^0 (рис. 208_2) и вновь наводимъ трубу на предметъ M (рис. 208_3) и дѣлаемъ новый отсчетъ по тому же ноніусу, какъ и въ первый разъ.



1 2 3

Рис. 208.

Если при первомъ положеніи круга отсчетъ былъ B, а при второмъ—C, то, очевидно, что отсчетъ A, соотвѣтствующій трубѣ, направленной въ зенитъ, будетъ равенъ среднему ариѳметическому

$$A = \frac{B + C}{2}$$

Примѣръ:

I-ое положеніе круга, отсчетъ	$20^0 10'$
II-ое » » »	$190^0 20'$
Точка зенита $\frac{20^0 10' + 190^0 20'}{2}$	$= 105^0 15'$

Отсчетъ, соотвѣтствующій горизонтальному положенію трубы, будетъ на 90^0 меньше или больше, т. е. $15^0 15'$ и $195^0 15'$.

i) Опредѣленіе высоты предмета надъ горизонтомъ. Отсчетъ при наведеніи трубы на предметъ M въ нашемъ случаѣ былъ при одномъ положеніи круга . . . $20^0 10'$, при другомъ $190^0 20$

соотвѣтственные отсчеты для трубы горизонтальной	$15^0 15'$	$195^0 15'$
Разность	$4^0 55'$	$4^0 55'$

Т. обр. высота предмета надъ горизонтомъ для наблюдателя $4^0 55'$.

Пусть отсчетъ по тому же ноніусу вертикальнаго круга при наведеніи трубы на звѣзду будетъ $60^0 30'$

Отсчетъ для трубы горизонтальной $15^0 15'$

Высота звѣзды надъ горизонтомъ $45^0 15$

k) Опредѣленіе высоты предмета въ линейныхъ мѣрахъ. Положимъ, мы хотимъ узнать высоту окна c колокольни (рис. 209) надъ поверхностью земли

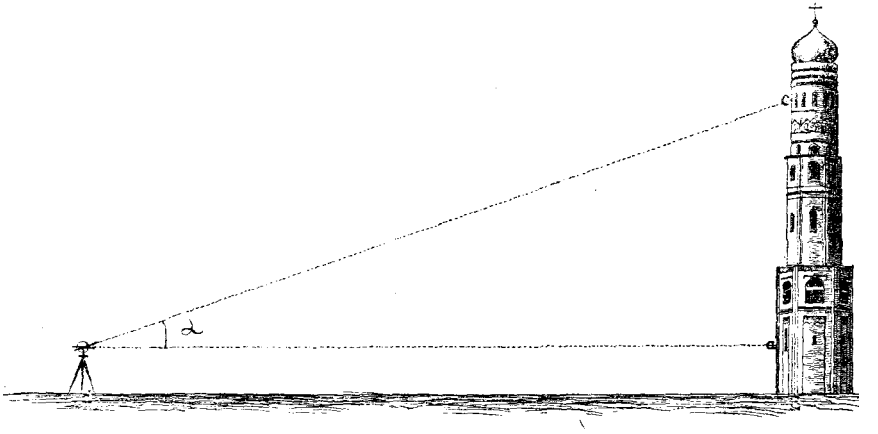


Рис. 209.

На нѣкоторомъ разстояніи отъ колокольни устанавливаемъ универсальный инструментъ, измѣряемъ это разстояніе d и уголъ α

Изъ прямоугольнаго $\triangle$-ка находимъ

$$ac. = d.\ tg\alpha$$

Если высота инструмента h, то искомая высота окна надъ поверхностью земли $= h + d.\ tg\alpha$.

Примѣръ: $d = 20$ саж. $= 60$ арш.

$h = 2$ арш.

Отсчетъ на вертикальномъ кругѣ универсальнаго ин-.
струмента при горизонтальной трубѣ . . . . . $15^0 15'$ *)
Отсчетъ при наведеніи на окно . . . . . $45^0 29'$
Такимъ образомъ . . . . . $\alpha = 30^0 14'$

$$lgtg\alpha = 9.76551$$
$$lgd = 1.77815$$
$$lgdtg\alpha = 1.54366$$
$$dtg\alpha = 35 \text{ арш.}$$

$dc = h + dtg\alpha = 2$ арш. $+ 35$ арш. $= 37$ арш. $= 12$ саж. 1 арш

l) Опредѣленіе углового діаметра солнца. Наблюдаем солнце вблизи меридіана, когда высота свѣтила измѣняется мало

На окуляръ надѣваемъ темное стекло

Установивши инструментъ, наводимъ трубу на верхній край солнечнаго диска и дѣлаемъ отсчетъ по одному изъ ноніусовъ вертикальнаго круга.

*) При другомъ положеніи круга отсчетъ для горизонтальной трубы былъ бы $195^0 15'$ и при наведеніи на окно $165^0 1'$ (отсчеты при поднятіи трубы уменьшаются).

Потомъ наводимъ трубу на нижній край и дѣлаемъ второй отсчетъ по тому же ноніусу.

Разность этихъ двухъ отсчетовъ даетъ съ той или другой степенью точности угловой радіусъ солнца.

Примѣръ:

Отсчетъ для верхняго (въ трубѣ) края солнца . . .	66°52′
Отсчетъ для нижняго края	67°23′
Угловой діаметръ солнца	31′

m) Опредѣленіе меридіана на горизонтальномъ кругѣ. Приближенно можно найти направленіе меридіана съ помощью буссоли, которая часто имѣется при универсальномъ инструментѣ. Поворачиваемъ верхнюю часть инструмента такъ, чтобы труба стала параллельно магнитной стрѣлкѣ, и дѣлаемъ отсчетъ. Этотъ отсчетъ будетъ соотвѣтствовать магнитному меридіану.

Направленіе географическаго меридіана нетрудно опредѣлить по соотвѣтственнымъ высотамъ солнца (или звѣзды).

Наводимъ трубу на верхній край солнца, когда оно близко къ меридіану, но завѣдомо еще не дошло до него. Закрѣпляемъ трубу по высотѣ и дѣлаемъ отсчетъ на горизонтальномъ кругѣ.

Потомъ, не трогая трубы, поворачиваемъ верхнюю часть инструмента и ждемъ, когда солнце, поднявшись нѣсколько въ меридіанѣ, послѣ на западѣ опять спустится до той же высоты, при которой сдѣлано первое наблюденіе, такъ что вновь своимъ верхнимъ краемъ коснется средней нити. Сдѣлаемъ отсчетъ на горизонтальномъ кругѣ, соотвѣтствующій этому положенію инструмента.

Направленіе меридіана будетъ какъ разъ среднее ариѳметическое изъ этихъ двухъ отсчетовъ.

Примѣръ:

Отсчетъ на горизонтальномъ кругѣ, когда солнце къ востоку отъ меридіана	280°45′
Отсчетъ на горизонтальномъ кругѣ, когда солнце къ западу отъ меридіана	291°25′
Направленіе меридіана	286° 5′

n) Опредѣленіе азимута предмета. Устанавливаемъ инструментъ и опредѣляемъ направленіе меридіана на горизонтальномъ кругѣ. Потомъ наводимъ трубу на предметъ и дѣлаемъ отсчетъ по горизонтальному кругу. Разность отсчетовъ даетъ искомый азимутъ.

Примѣръ I:

Положеніе меридіана	286° 5′	
Отсчетъ при наведеніи на предметъ . .	270°20′	
Азимутъ предмета	15°45′	къ востоку.

Примѣръ II:

Положеніе меридіана	286° 5′	
Отсчетъ при наведеніи на предметъ . .	315°35′	
Азимутъ предмета	29°30′	къ западу.

12) Черезъ недѣлю или десять дней наносить на карту эклиптическихъ созвѣздій (см. въ концѣ книги со-

отвѣтств. карту) положенія солнца по координатамъ и потомъ соединить всѣ точки непрерывной линіей. Она представитъ собой эклиптику.

По верхней и нижней сторонамъ каймы, которая охватываетъ карту, а также по средней линіи отсчитываются градусы прямого восхожденія. По боковымъ сторонамъ—градусы склоненія.

Для нанесенія положенія солнца удобно пользоваться лентой изъ бумаги и тонкой линейкой съ прямымъ угломъ.

Приближенныя координаты солнца:

	Пр. восх.	Склон.
Января 1	294°	−22°
» 11	305°	−19°
» 21	316°	−17°
» 31	326°	−14°
Февр. 10	335°	−10°
» 20	345°	− 6°
Марта 2	355°	− 2°
» 12	4°	+ 2°
» 22	13°	+ 6°
Апрѣля 1	22°	+ 9°
» 11	31°	+13°
» 21	41°	+16°
Мая 1	51°	+19°
» 11	61°	+21°
» 21	71°	+22°
» 31	82°	+23°
Іюня 10	92°	+23°.5
» 20	102°	+23°
Іюня 30	112°	+22°
Іюля 10	122°	+20°
» 20	132°	+18°
» 30	142°	+15°
Августа 9	151°	+12°
» 19	160°	+ 8°
» 29	169°	+ 5°
Сентяб. 8	178°	+ 1°
» 18	187°	− 3°
» 28	196°	− 7°
Октября 8	206°	−11°
» 18	215°	−14°
» 28	225°	−17°
Ноября 7	235°	−20°
» 17	246°	−22°
» 27	257°	−23°
Декабря 7	268°	−23°.5
» 17	279°	−23°
» 27	289°	−22°

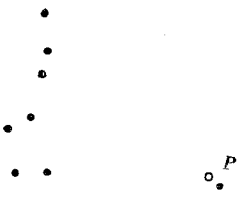


Рис. 210.

13) Въ концѣ сентября около 9 часовъ вечера Б. Медвѣдица относительно горизонта расположена приблизительно такъ, какъ показано на рис. 210. Разсчитать, въ какіе мѣсяцы въ тѣ же часы (9 час.), положеніе Б. Медвѣдицы будетъ подобно тому, что дано на рис. 200 и рис. 201 Провѣрить по собственнымъ наблюденіямъ.

14) Опредѣлить широту мѣста наблюденія по Полярной.

Опредѣляемъ высоту Полярной надъ горизонтомъ съ помощью универсальнаго инструмента или, если нѣтъ такого инструмента, съ помощью транспортира. Приложивши глазъ къ транспортиру, направимъ его діаметръ (рис. 211) на Полярную звѣзду S.

Пусть въ это время помощникъ держитъ нитку съ грузомъ у центра O и отсчитываетъ то число градусовъ на транспортирѣ, которое закрывается ниткой отвѣса. Очевидно, высота полюса $AOB = COD$ (по перпендикулярности сторонъ).

Примѣръ: Нитка отвѣса покрываетъ 44^0
Широта мѣста $=90^0-44^0=46^0$

15) Опредѣлить широту мѣста по наблюденію звѣзды въ моментъ верхней кульминаціи.

Если звѣзда кульминируетъ къ югу отъ зенита, то

$$\varphi = z + \delta$$

Выбираемъ звѣзду вблизи меридіана. По возможности точно разсчитываемъ моментъ ея верхней кульминаціи и опредѣляемъ для этого времени зенитное разстояніе съ помощью универсальнаго инструмента.

Склоненіе звѣзды выписываемъ изъ таблицъ.

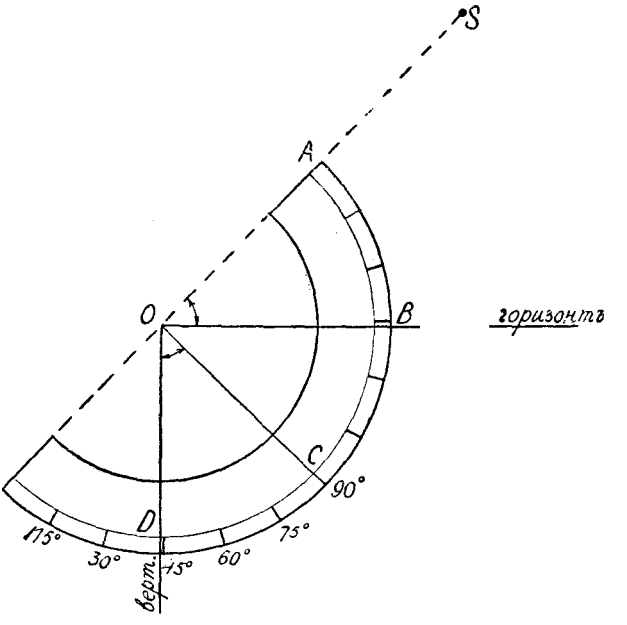


Рис. 211.

Примѣръ: 15-го октября въ Юрьевѣ наблюдалась звѣзда альфа Андромеды.

Прям. восх. звѣзды=0 час. 4 мин., склоненіе=$+28^0 37'$.

Звѣздное время для верхней кульминаціи	0	час.	4 мин
Звѣздное время въ ср. полдень 15 октября	14	»	26 »
Верхняя кульминація альфы Андромеды черезъ . .	9	зв. час.	38 мин.

послѣ полудня, т. е. приблизительно въ 9 час. 36 мин. по среднему солнечному времени.

Универсальный инструментъ былъ установленъ засвѣтло.

Положеніе точки зенита для этого дня оказалось—$105^0 30'$

Въ 9 час. 36 мин. труба была наведена на альфу Андромеды.

Соотвѣтственный отсчетъ на вертикальномъ кругѣ оказался $75^0 44'$

Такимъ образомъ

Точка зенита	$105^0 30'$
Отсчетъ	$75^0 44'$
z	$29^0 46'$
δ	$28^0 37'$
$\varphi = z + \delta$	$58^0 23'$
Широта Юрьева	$58^0 23'$

16) Прослѣдить на небѣ расположеніе эклиптики въ одну изъ ясныхъ зимнихъ ночей.

17) Измѣрить на дворѣ разстояніе до какого нибудь предмета, не подходя къ нему непосредственно.

Положимъ, намъ нужно найти разстояніе отъ точки D до шеста C (рис. 212).

Въ направленіи, перпендикулярномъ къ CD, измѣряемъ произвольное протяженіе AD. Потомъ устанавливаемъ надъ точкой A универ-

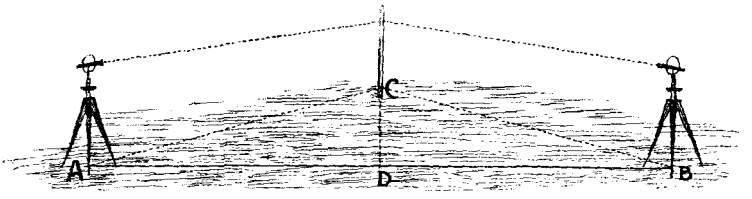


Рис. 212.

сальный инструментъ и опредѣляемъ уголъ CAD. Тогда непосредственно по соотношенію сторонъ прямоуг. треугольника находимъ:

$$CD = AD \cdot tgA.$$

Примѣръ:

$AD = 10$ саж. $\quad lgAD = 1.00000$

$\angle A = 70^0 \quad lgtgA = 0.43893$

$lgCD = 1.43893$

$CD = 27{,}5$ саж.

Можно также употребить геометрическій методъ, который дастъ тѣмъ болѣе точные результаты, чѣмъ дальше предметъ.

Измѣряемъ въ ту и другую сторону отъ точки D равныя протяженія DA и DB. Опредѣливъ уголъ A, измѣримъ для контроля также уголъ B, который, очевидно, долженъ равняться углу A.

Зная два угла A и B, находимъ третій уголъ C.

Мысленно описываемъ изъ точки C, какъ центра, окружность радіусомъ CD.

AB будетъ касательная къ этой окружности.

Съ грубымъ приближеніемъ можно принять AB по длинѣ равнымъ дугѣ, соотвѣтствующей углу C.

Длина этой дуги $= \dfrac{2\pi \cdot CD \cdot C}{360}$, если уголъ C — выраженъ въ градусахъ.

Такимъ образомъ опредѣляемъ CD изъ уравненія

$$\frac{2\pi \cdot CD \cdot C}{360} = AB,$$

въ которое надо подставить для угла C и протяженія AB значенія, полученныя по измѣренію.

Примѣръ: $AB = 20$ саж.

$$\angle A = 70^0, \ \angle B = 70^0$$

Такимъ образомъ

$$\angle C = 180^0 - (70^0 + 70^0) = 40^0$$

$$\frac{2\pi \cdot CD \cdot 40}{360} = 20 \text{ саж}$$

Принимая $\pi = \dfrac{22}{7}$

найдемъ $CD = 28{,}6$ саж

18) Зарисовать положеніе луны относительно сосѣднихъ звѣздъ—въ началѣ вечера, черезъ 4—5 часовъ и на слѣдующій день.

19) Отмѣтить по собственнымъ наблюденіямъ, когда луна будетъ въ первой четверти, разсчитать дальнѣйшія фазы и сравнить по календарю, а если позволитъ погода, то и по собственнымъ наблюденіямъ.

20) Послѣдить за яркостью звѣзды Альголя (бэта Персея). Въ астр. календарѣ даются моменты минимума блеска.

21) Наблюденія съ астрономической трубой.

Если большой трубы нѣтъ, то можно ограничиться трубой универсальнаго инструмента или биноклемъ.

a) Поверхность солнца. Пятна. Грануляція.

Передъ наблюденіемъ надѣть на окуляръ темное стекло. Можно также проектировать солнце на бѣлый картонъ, выдвигая окулярную часть трубы настолько, чтобы края солнечнаго диска были рѣзки.

b) Поверхность луны.

Наиболѣе интересна луна около первой четверти, когда на внутреннемъ краѣ освѣщенной части видно много разнообразныхъ неровностей: горныя цѣпи, цирки, трещины, моря, свѣтлыя точки и скобочки на темномъ фонѣ.

c) Фазы Венеры.

d) Полосы и пятна на Юпитерѣ. Зарисовать расположеніе спутниковъ.

e) Кольца Сатурна.

f) Двойныя звѣзды: ϑ Тельца, ε и 5 Лиры, β Лебедя, Мицаръ (ζ Б. Медвѣдицы), кратная звѣзда ϑ Оріона.

По возможности большое увеличеніе.

g) Звѣздныя скопленія: Плеяды, зв. ск. въ Персеѣ, скопл. въ Геркулесѣ, Ракѣ, Близнецахъ.

Зв. скопленія въ Персеѣ, Ракѣ и Плеяды особенно интересны при маломъ увеличеніи.

h) Туманности въ созв. Андромеды и Оріона.

i) Млечный путь.

22) Если появится достаточно яркая комета, то зарисовать ея перемѣщеніе между звѣздами, а также общій видъ для каждаго дня наблюденія (рис. 213).

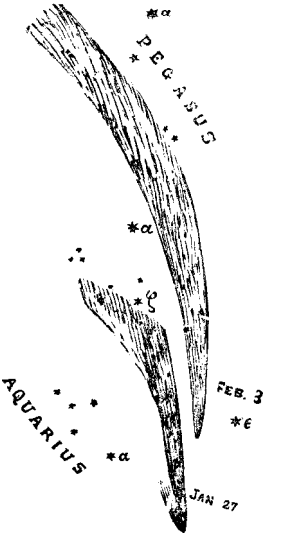


Рис. 213.—Комета 1900 г. янв. 27-го и февр. 3-го.

23) Не пропустить затменія луны и солнца; при этомъ

a) записать моменты начала, середины и конца затменія;

b) оцѣнить величину затменія въ частяхъ діаметра свѣтила;

c) отмѣтить окраску луны во время полнаго луннаго затменія;

d) послѣдить за паденіемъ и повышеніемъ термометра во время солнечнаго затменія.

Широты и долготы главнѣйшихъ населенныхъ мѣстъ Россійской Имперіи и нѣкоторыхъ иностранныхъ обсерваторій

Долгота разсчитана во времени отъ Гринвича.

Городъ.	Широта.		Долгота.	
Або	60⁰	27′	1 ч.	29 м.1
Азовъ	47	07	2	37.7
Аккерманъ	46	12	2	1.3
Акмолинскъ	51	10	4	45.7
Акмолы	51	16	3	42.4
Алатырь	54	51	3	06.3
Александрія	48	40	2	12.5
Александровскъ	47	49	2	20.7
Александрополь	40	48	3	06.4
Ананьевъ	47	43	1	59.8
Анапа	44	54	2	29.3
Андижанъ	40	49	4	49.5
Ардатовъ Ниж. г.	55	14	2	52.4
Ардатовъ Симб. г.	54	51	3	4.8
Аренсбургъ	58	15	1	30.0
Арзамасъ	55	23	2	55.3
Архангельскъ	64	32	2	42.3
Астрахань	46	21	3	12.1
Асхабадъ	37	45	3	53.3
Аткарскъ	51	52	3	00.0
Ахалцыхъ	41	39	2	51.9
Ахтырка	50	18	2	19.7
Аянъ	56	28	9	12.9
Баку	40	21	3	19.3
Балаклава	44	30	2	14.4
Балашовъ	51	53	2	52.6
Балта	47	56	1	58.5
Барнаулъ	53	20	5	35.3
Батумъ	41	40	2	46 3
Бахмутъ	48	35	2	32.0
Бахчисарай	44	45	2	15.9
Бендеры	46	49	1	57.9
Бердичевъ	49	54	1	54.3
Бердянскъ	46	45	2	27.3
Бійскъ	52	32	5	41.2
Благовѣщенскъ	50	15	8	30.3
Бобруйскъ	53	08	1	53.8
Богуславъ	49	03	2	02.1
Болховъ	53	27	2	34.1
Борис., с. Кур. г.	50	36	2	34.0
Борисовъ	54	15	1	54.1
Борисоглѣбскъ	51	22	2	48.4
Брестъ-Литовскъ	52	05	1	34.7
Брянскъ	53	15	2	17.3
Бугурусланъ	53	39	3	31.1
Бузулукъ	52	47	3	29.0
Бутур., с. Ворон. г.	50	44	2	42.8
Бѣлая Церковь	49	47	2	00.6
Бѣлгородъ	50	36	2	26.6
Бѣлостокъ	53	08	1	32.8
Бѣльцы	47	46	1	51.6
Варшава	52	13	1	24.1
Васильковъ	50	11	2	1.3
Велижъ	55	37	2	04.9
Великій Устюгъ	60	46	3	05.3
Великія Луки	56	21	2	2.1
Верхотурье	58	52	4	3.2
Ветлуга	57	51	3	3.2
Вилькомiръ	55	15	1	39.1
Вильна	54⁰	41′	1 ч.	41 м. 1
Виндава	57	24	1	26.2
Витебскъ	55	12	2	00.8
Владивостокъ	43	07	8	47.7
Владикавказъ	43	02	2	58.7
Владиміръ губ.	56	08	2	41.6
Владиміръ Вол.	50	51	1	37.0
Вознесенскъ	47	34	2	05.3
Вологда	59	13	2	39.5
Вольскъ	52	02	3	09.6
Воронежъ	51	40	2	36.8
Вотк. зав. Вят. г.	57	27	3	32.0
Выборгъ	60	43	1	54.9
Вытегра	61	00	2	25.8
Вышній Волочекъ	57	35	2	18.1
Вѣрный	43	16	5	06.9
Вязьма	55	12	2	17.3
Вятка	58	36	3	18.7
Галичъ	58	23	2	49.4
Гельсингфорсъ	60	10	1	39.8
Георгіевскъ	44	9	2	53.9
Глазовъ	58	8	3	30.7
Глуховъ	51	41	2	15.6
Гольдингенъ	56	58	1	27.9
Гомель	52	25	2	04.3
Гори	41	59	2	56.4
Горки Могил. г.	54	17	2	04.4
Гродно	53	41	1	35.3
Гурьевъ	47	7	3	28.0
Двинскъ	55	53	1	46.0
Дербентъ	42	04	3	11.5
Джизакъ	40	07	4	31.1
Евпаторія	45	11	2	13.4
Ейскъ	46	43	2	33.1
Екатеринбургъ	56	49	4	02.4
Екатеринодаръ	45	01	2	36.0
Екатеринославъ	48	28	2	20.6
Елатьма	54	58	2	47.1
Елецъ	52	37	2	34.0
Елисаветградъ	48	31	2	09.3
Елисаветполь	40	41	3	05.5
Енисейскъ	58	27	6	07.7
Енотаевскъ	47	15	3	8.2
Ессентуки	44	02	2	51.4
Ефремовъ	53	8	2	32.4
Житомiръ	50	15	1	54.6
Згержъ	51	51	1	17.9
Златополь	48	49	2	06.3
Златоустъ	55	10	3	58.7
Иван. Вознесенскъ.	57	01	2	44.3
Измаилъ	45	20	1	54.3
Изюмъ	49	11	2	29.1
Ирбитъ	57	41	4	12.3
Иркутскъ	52	16	6	57.1
Казань	55	47	3	16.5
Каинскъ	55	27	5	13.2
Калишъ	51	46	1	12.4
Калуга	54	31	2	25.0
Каменецъ Под.	48	40	1	46.3

Городъ.	Широта.		Долгота.		
Камышинъ	50°	05′	3 ч.	01. м.	6
Карачевъ	53	07	2	19.9	
Карсъ	40	37	2	52.3	
Касимовъ	54	56	2	45.5	
Кашгаръ	39	27	5	4.0	
Катты-Курганъ	39	53	4	32.9	
Кемь	64	57	2	18.6	
Керчь	45	21	2	26.0	
Кизляръ	43	51	3	06.8	
Кинешма	57	27	2	48.7	
Кисловодскъ	43	54	2	50.8	
Кишиневъ	47	00	1	55.4	
Кіевъ	50	27	2	02.0	
Клинъ	56	20	2	26.9	
Кобеляки	49	9	2	06.3	
Ковель	51	13	1	38.8	
Ковно	54	54	1	35.6	
Козловъ	52	53	2	42.1	
Козмодемьянскъ	56	21	3	6.2	
Кокандъ	40	31	4	44.0	
Кола Арханг. г.	68	53	2	12.1	
Коломна	55	6	2	35.0	
Конотопъ	51	14	1	13.0	
Кострома	57	46	2	43.7	
Красноводскъ	40	0	3	32.0	
Красноуфимскъ	56	38	3	50.7	
Красноярскъ	56	1	6	12.6	
Кременчугъ	49	4	2	13.6	
Кронштадтъ	60	0	1	59.1	
Кузнецкъ Сар. г.	53	7	3	06.7	
Кузнецкъ Том. г.	53	46	5	48.8	
Куопіо	62	53	1	50.3	
Курскъ	51	44	2	24.8	
Кутаисъ	42	16	2	50.8	
Лебедянь Харьк. г.	50	35	2	18.0	
Ленкорань	38	46	3	15.4	
Либава	56	30	1	24.0	
Ливны	52	25	2	30.4	
Липецкъ	52	37	2	38.4	
Лодейное поле	60	44	2	14.2	
Лодзь	51	47	1	18.0	
Ломжа	53	11	1	28.4	
Лубны	50	1	2	12.3	
Луганскъ Екат. г.	48	27	2	34.0	
Луцкъ	50	44	1	41.3	
Люблинъ	51	15	1	30.3	
Майкопъ	44	36	2	40.4	
Маріуполь	47	6	2	30.5	
Мезень	65	50	2	57.1	
Мелитополь	46	51	2	21.5	
Мигулинская ст.	49	32	2	50.7	
Минскъ	53	54	1	50.2	
Минусинскъ	53	43	6	6.9	
Митава	56	39	1	34.9	
Могилевъ Губ. г.	53	54	2	01.3	
Могилевъ Подол. г.	48	27	1	51.2	
Моздокъ	43	44	2	58.7	
Моршанскъ	53	26	2	47.4	
Москва	55	45	2	30.3	
Муромъ	55	35	2	48.3	
Мценскъ	53	17	2	26.3	
Нарва	59	23	1	52.8	
Нахич. на Дону	47	14	2	39.1	

Городъ.	Широта.		Долгота.		
Невьянскій зав.	57°	30′	4 ч.	01. м.	3
Нижнетагил. зав.	58	03	4	01.3	
Нижне-Колымскъ	68	32	10	42.9	
Нижній- Новгородъ	56	20	2	56.0	
Николаевскъ на Ам.	53	8	9	22.9	
Николаевскъ Сар.	52	0	3	15.2	
Николаевъ	46	58	2	07.9	
Николайштадтъ	63	4	1	26.6	
Новая Александрія	51	25	1	27.8	
Новгородъ	58	31	2	05.1	
Новомосковскъ	48	38	2	21.1	
Новочеркасскъ	47	25	2	40.4	
Нуха	41	12	3	08.8	
Нѣжинъ	51	3	2	07.6	
Обдорскъ	66	31	4	26.3	
Одесса	46	29	2	03.3	
Олекминскъ	60	22	8	2.6	
Олонецъ	60	59	2	11.8	
Омскъ	54	59	4	53.5	
Онега	63	54	2	32.0	
Орелъ	52	58	2	24.3	
Оренбургъ	51	45	3	40.4	
Острогъ	50°	20	1	45.9	
Оханскъ	57	43	3	41.6	
Охотскъ	59	21	9	33.2	
Очаковъ	46	37	2	06.2	
Павлоградъ	48	32	2	23.5	
Пенза	53	11	3	00.1	
Пермь	58	1	3	45.1	
Перновъ	58	23	1	38.0	
Петроградъ	59	57	2	01.2	
Петровскъ Сар. г.	52	19	3	01.6	
Петрозаводскъ	61	47	2	17.6	
Петроковъ	51	19	1	18.8	
Петропавл. Акм. об.	54	53	4	36.4	
Петропавл. портъ.	53	1	10	34.9	
Пинега	64	42	2	53.6	
Пинскъ	52	7	1	44.4	
Плоцкъ	52	33	1	18.8	
Повѣнецъ	62	51	2	19.3	
Полоцкъ	55	29	1	55.0	
Полтава	49	35	2	18.3	
Поти	42	8	2	46.6	
Проскуровъ	49	26	1	48.0	
Псковъ	57	49	1	53.3	
Пулково	59	46	2	01.3	
Пятигорскъ	44	3	2	52.4	
Радомъ	51	24	1	23.3	
Ревель	59	26	1	39.0	
Ровно	50	37	1	45.0	
Ржевъ	56	16	2	17.4	
Рига	56	57	1	36.5	
Ромны	50	45	2	14.0	
Ростовъ на Д.	47	13	2	38.9	
Рыбинскъ	58	3	2	35.5	
Ряжскъ	53	43	2	40.2	
Рязань	54	38	2	39.0	
Самара	53	11	3	20.4	
Самаркандъ	39	39	4	28.0	
С.-Михель	61	42	1	48.7	
Саранскъ	54	11	3	00.8	
Сарапуль	56	28	3	35.2	
Саратовъ	51	32	3	04.3	

Городъ.	Широта.		Долгота		Городъ.	Широта.		Долгота.	
Севастополь . . .	44⁰	37′	2ч.	14.м.1	Улеаборгъ . . .	65⁰	2′	1ч.	41.м.6
Семипалатинскъ .	50	24	5	20.4	Умань	48	45	2	01.8
Серадзь	51	36	1	15.0	Уральскъ	51	12	3	25.4
Серг. пос. Моск. г.	56	5	2	35.4	Усть-Сысольскъ .	61	40	3	23.0
Сердополь	61	42	2	2.7	Устюжна.	58	51	2	25.7
Серпуховъ . . .	54	54	2	29.7	Уфа	54	43	3	43.8
Симбирскъ . . .	54	19	3	13.6	Хабаровскъ . . .	48	28	9	00.5
Симферополь . .	44	57	2	16.4	Харьковъ	50	0	2	24.9
Скопинъ	53	49	2	38.2	Хвалынскъ . . .	52	30	3	12.4
Славянскъ	48	51	2	30.4	Херсонъ	46	38	2	10.5
Слонимъ	53	6	1	41.3	Ходжентъ	40	17	4	38.7
Слуцкъ	53	2	1	50.2	Холмогоры. . . .	64	13	2	46.6
Смоленскъ	54	47	2	08.2	Хотинъ	48	30	1	46.0
Соловецк. Монаст.	65	1	2	23.3	Царицынъ	48	42	2	58.1
Сольвычегодскъ .	61	20	3	9.6	Царское село . .	59	42	2	01.6
Средне-Колымскъ	67	27	10	14.2	Ченстоховъ . . .	50	49	1	16.8
Ставроп. Губ. г. .	45	3	2	48.0	Череповецъ . . .	59	7	2	31.7
Старая Русса . .	57	59	2	05.4	Черкассы	49	27	2	08.3
Стародубъ	52	35	2	11.0	Черниговъ	51	29	2	05.2
Старо-Константин.	49	45	1	48.9	Черный Яръ . . .	48	4	3	4.9
Сувалки	54	6	1	31.8	Чигиринъ	49	5	2	10.7
Сумы	50	54	2	19.2	Чистополь	55	22	3	22.6
Сухумъ-Кале . .	42	59	2	44.0	Чита	52	1	7	34.0
Сызрань	53	9	3	14.5	Шавли	55	56	1	33.3
Тавастгусъ . . .	61	0	1	38.1	Шемаха	40	38	3	14.6
Таганрогъ	47	12	2	35.8	Шлиссельбургъ .	59	57	2	04.1
Тамбовъ	52	44	2	45.8	Шуша	39	46	3	07.0
Ташкентъ	41	20	4	37.2	Шуя	56	51	2	45.6
Тверь	56	52	2	23.6	Щигры	51	52	2	27.6
Тем.-Хан.-Шура .	42	50	3	08.4	Эривань	40	10	2	58.0
Тифлисъ	41	42	2	59.3	Юрьевецъ Костр.	57	19	2	51.4
Тихвинъ	59	39	2	14.0	Юрьевъ (Дерптъ)	58	23	1	46.9
Тобольскъ	58	13	4	33.1	Якобштадтъ . . .	56	30	1	43.4
Томскъ	56	29	5	39.8	Якутскъ	62	1	8	39.0
Торжокъ	57	2	2	19.8	Ялта	44	30	2	16.8
Тотьма	59	58	2	51.1	Ямбургъ	59	23	1	54.4
Троицкъ	54	5	4	06.2	Яранскъ	57	18	3	11.5
Тула	54	12	2	30.5	Яренскъ	62	10	3	16.4
Тургай	49	38	4	14.4	Ярославль	57	37	2	39.6
Туруханскъ . . .	65	55	5	50.5	Ѳеодосія	45	1	2	21.6
Тюмень	57	10	4	22.1					

Аѳины . . .	+37⁰	58′	1ч.	34 м. 6 къ в.	Мадрасъ	+13⁰	4′	+5ч.	21 м. 0 къ в.
Берлинъ . .	+52	30	0	53.6	Мадридъ	+40	24	—0	14.8
Бомбей . . .	+18	54	4	51.3	Мельбурнъ . . .	—37	50	+9	39.9
Брюссель . .	+50	51	0	18.5	Парижъ	+48	50	+0	9.3
Будапештъ .	+47	29	1	16.2	Ріо-де-Жанейро .	—22	54	—2	52.7
Вашингтонъ .	+38	55	—5	8.3	Римъ	+41	54	+0	49.9
Вѣна	+48	13	+1	15.2	Сантіяго въ Чили	—33	27	—4	42.8
Женева . . .	+46	12	+0	24.6	Стокгольмъ . . .	+59	21	+1	12.2
Ла-Плата . .	—34	55	—3	51.6	Токіо	+35	39	+9	19.0
Лиссабонъ . .	+38	43	—0	36.7					

Положенія главнѣйшихъ звѣздъ, звѣздныхъ скопленій и туманностей

Звѣзды.	Величина.	Прям. восх.	Склон.
α Андромеды . . .	2.0	0 час. 4 мин.	+28° 37′
β Кассіопеи	2.1	5	+58 40
γ Пегаса	2.6	9	+14 42
α Кассіопеи	Перем. 2.2—2.8	36	+56 4
β Кита	2.0	40	—18 28
γ Кассіопеи	2.0	52	+60 15
β Андромеды . . .	2.3	1 час. 5 мин.	+35 10
Полярная	2.0	29	+88 51
γ Андромеды . . .	2.4	59	+41 55
α Овна	2.0	2 час. 2 мин.	+23 3
ο Кита	Перем. 1.7—9.0	15	— 3 24
α Кита	2.3	58	+ 3 45
β Персея	Перем. 2.2—3.7	3 час. 3 мин.	+40 37
α Персея	2.0	18	+49 33
ϑ Тельца	Дв. 4.0—4.2	4 час. 24 мин.	+15 46
α Тельца	1	30	+16 20
α Возничаго	1	5 час. 10 мин.	+45 55
β Оріона	1	11	— 8 18
γ Оріона	2.0	21	+ 6 16
β Тельца	2.0	21	+28 32
δ Оріона	Перем. 2.2.—2.7	28	— 0 22
ε Оріона	2.0	32	— 1 15
α Оріона	Перем. 1.0—1.4	51	+ 7 24
β Возничаго . . .	2.0	53	+44 56
γ Близнецовъ . . .	2.3	6 час. 33 мин.	+16 28
α Б. Пса	1	41	—16 36
ε Б. Пса	1.6	55	—28 51
δ Б. Пса	2.0	7 час. 5 мин.	—26 15
α Близнецовъ . . .	Дв. 2.0	29	+32 5
α Мал. Пса	1	35	+ 5 27
β Близнецовъ . . .	1.3	40	+28 14
α Гидры	2.0	9 час. 23 мин.	— 8 17
α Льва	1.3	10 час. 4 мин.	+12 24
β Б. Медвѣдицы . .	2.3	57	+56 51
α Б. Медвѣдицы . .	2.0	58	+62 13
δ Льва	2.3	11 час. 10 мин.	+21 0
β Льва	2.0	45	+15 4
γ Б. Медвѣдицы . .	2.3	49	+54 11
γ Ворона	2.0	12 час. 11 мин.	—17 4
δ Ворона	2.3	25	—15 58
β Ворона	2.3	30	—22 55
ε Б. Медвѣдицы . .	2.0	50	+56 26
ζ Б. Медвѣдицы . .	Дв. 2.1	13 час. 20 мин.	+55 23
α Дѣвы	1	21	—10 42
η Б. Медвѣдицы . .	2.0	44	+49 45
α Волопаса	1	14 час. 12 мин.	+19 38
α Вѣсовъ	2.3	46	—15 41
β Мал. Медвѣдицы .	2.0	51	+74 31

Звѣзды.	Величина	Прям. восх.	Склон.
β Вѣсовъ	2.0	15 час. 12 мин.	— 9° 4′
α Сѣв. Короны . . .	2.0	31	+27 0
α Змѣи	2.3	40	+ 6 42
δ Скорпіона	2.3	55	—22 22
β Скорпіона	2.0	16 час. 0 мин.	—19 34
α Скорпіона	1.3	24	—26 15
β Геркулеса	2.3	26	+21 41
η Змѣеносца . . .	2.3	17 час. 5 мин.	—15 37
α Змѣеносца . . .	2.0	31	+12 37
γ Дракона	2.3	55	+51 30
α Лиры	1	18 час. 34 мин.	+38 42
ε Лиры	Дв. 4.5—5.1	41	+39 35
σ Стрѣльца	2.3	50	—26 24
α Орла	1.3	19 час. 47 мин.	+ 8 38
γ Лебедя	2.4	20 час. 19 мин.	+39 58
α Лебедя	1.6	38	+44 58
ε Пегаса	2.3	21 час. 39 мин.	+ 9 29
α Южн. Рыбъ . . .	1.3	22 час. 53 мин.	—30 5
β Пегаса	Перем. 2.2—2.7	23 час. 0 мин.	+27 37
α Пегаса	2.0	0	+14 44

Зв. ск. въ Персеѣ . .	2 час. 13 мин.	+56° 44′
Плеяды (зв. η) . . .	3 43	+23 52
Зв. ск. въ Близнец. .	6 3	+24 20
Зв. ск. въ Ракѣ . .	8 46	+20 18
Зв. ск. въ Геркулесѣ.	16 39	+36 2

Тум. въ Андромедѣ .	0 час. 38 мин.	+40° 48′
Тум. въ Оріонѣ . . .	5 31	— 5 28
Тум. въ Лирѣ . . .	18 50	+32 56

Таблицы большихъ планетъ.

ПЛАНЕТА.	Среднее разстояніе отъ солнца въ		Эксцентрисит. орбиты.	Наклон. орб. къ эклиптикѣ.	Сидерическое время обращенія около солнца.		Синодическое время оборота въ дняхъ.	Масса по отнош.	
	астр. един.	километрахъ			въ суткахъ.	въ годахъ.		къ солнцу.	къ землѣ.
Меркурій	0.387	57850000	0.206	7⁰	87.97	0.2408	115.9	1/6000000	0.05
Венера	0.723	108100000	0.007	3	224.70	0.6152	583.7	1/408000	0.79
Земля	1.000	149500000	0.017	0	365.26	1.0000	—	1/329390	1 00
Марсъ	1.524	227800000	0.093	2	687.68	1.8808	779.0	- 1/3093500	0.10
Юпитеръ	5.203	777800000	0.048	1	4432.59	11.8620	398.6	1/1047	3.10
Сатурнъ	9.539	1426000000	0.056	2	10759.24	29.4572	377.8	1/3502	93
Уранъ	19.183	2868000000	0.046	1	30688.39	84.0202	369.3	1/22869	14
Нептунъ	30.057	4403000000	0.008	2	60181.11	164.7669	367.2	1/19314	17

ПЛАНЕТА.	Экваторіальный діаметръ въ		Объемъ по отнош. къ землѣ.	Плотность		Тяжесть на поверхности.	Время вращенія около оси.	Сжатіе.
	килом.	частяхъ земного діам.		по отн. къ пл. земли	по отнош. къ водѣ.			
Меркурій	4800	0.36	0.05	1.00	5.5	0.25	88. 97 сут.	—
Венера	12700	0.99	0.98	0.80	4.5	0.88	33 час.	—
Земля	12756	1.00	1.00	1.00	5.5	1.00	23 час. 56 мин. 4 сек.	1/279
Марсъ	6700	0.53	0.15	0.67	3.7	0.37	24 37 23	1/19
Юпитеръ	141000	11.00	1330.0	0.24	1.3	2.54	9 55	1/16
Сатурнъ	120000	9.50	860.0	0.11	0.6	1.00	10 14	1/12
Уранъ	53000	4.10	69.0	0.20	1.1	0.83	10 3/4 час.	1/20
Нептунъ	48500	3.80	55.0	0.31	1.7	1.17	—	—

Таблицы солнца, луны и спутниковъ планетъ.

Солнце

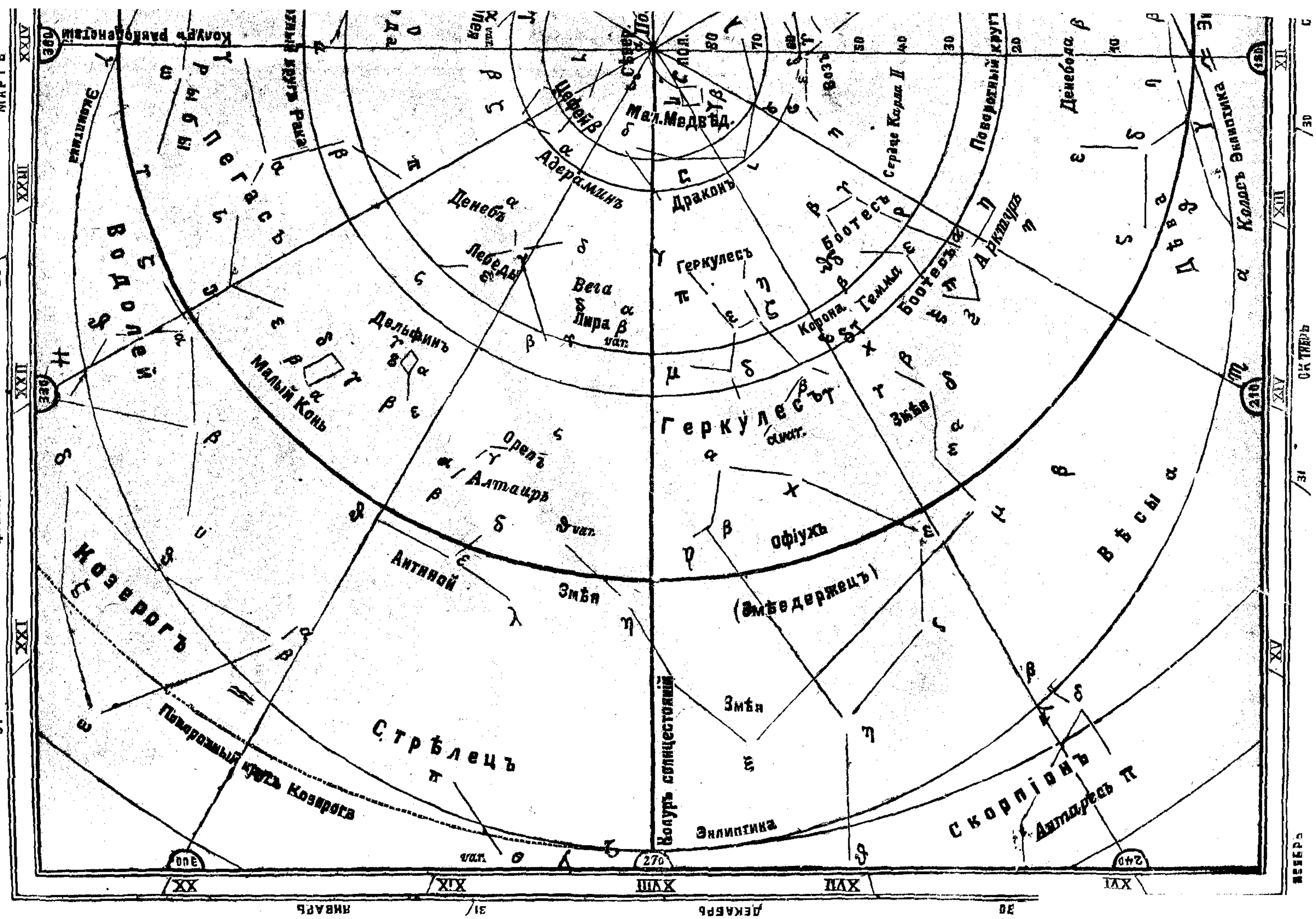
Параллаксъ.	8″.8
Разстояніе.	149500000 клм.
Видим. радіусъ.	16′
Діаметръ лин.	109 земн. діам.
Масса.	329000 земн. м.
Плотность.	1/4 земн. плотн.
Сидерич. обращ.	365.2563 сут.
Тропическ. обр.	365,2422 „
Время вращенія.	25 дней.

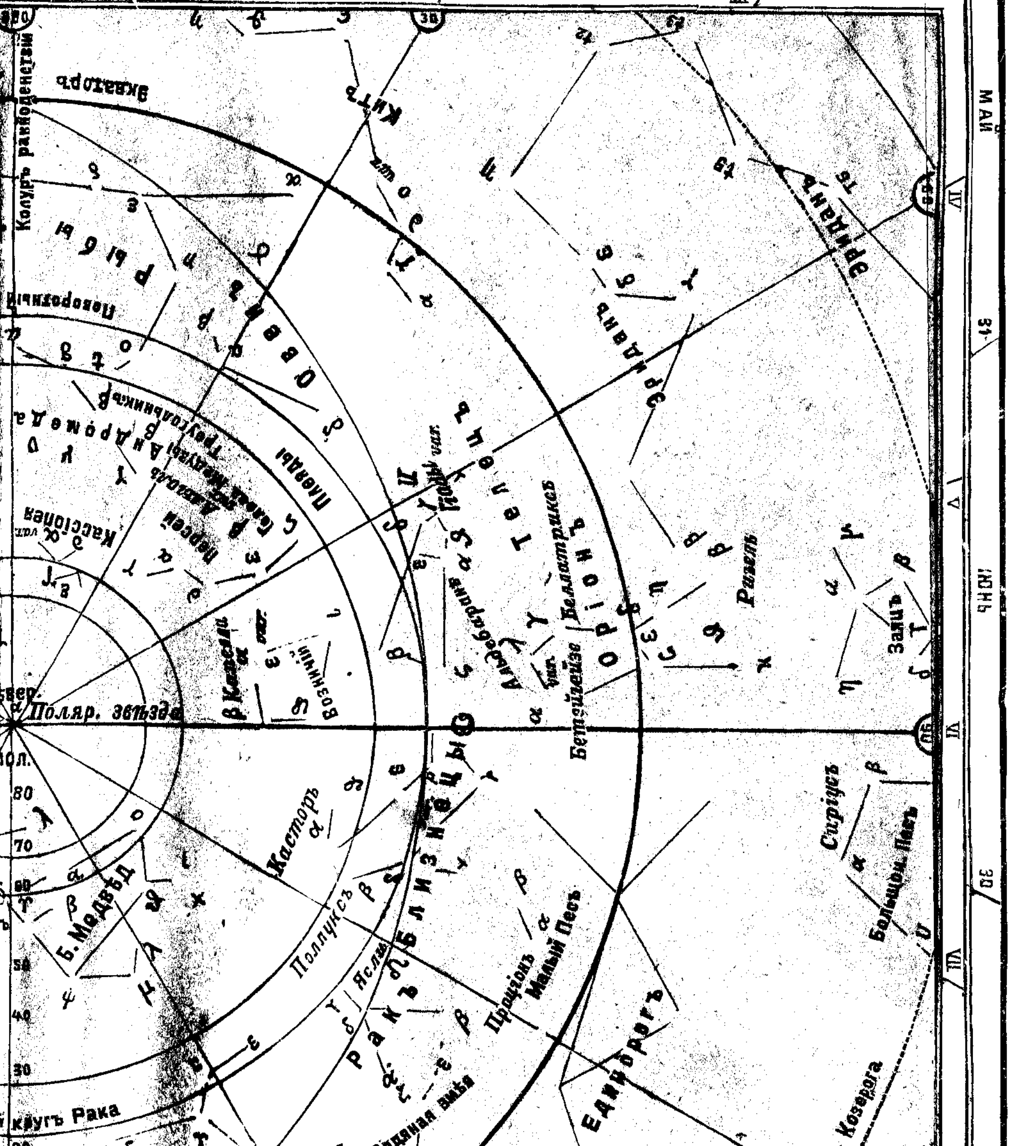
Луна

Параллаксъ.	57′2″
Разстояніе.	384400 клм.
Вид. радіусъ.	15′33″
Лин. діаметръ	0,27 земн. діам.
Масса.	1/81 земн. массы.
Плотность.	0,6 земн. плотн.
Сидер. обр.	27,32166 сут.
Синодич. обр.	29,53059 „
Время вращ.	27,32 „

Спутники.

Марса.	Діаметръ въ килом.	Средн. разстояніе отъ планетъ въ частяхъ экват радіуса планеты.	Сидерич. время об ращенія въ сут.
Фобосъ.	8.3	2.77	0.3189
Деймосъ.	7.2	6.92	1.2624
Юпитера.			
I	3930	5.944	1.7691
II	3260	9.452	3.5512
III	5700	15.086	7.1546
IV	5360	25.535	16.6890
Сатурна			
Мимасъ.	513	3.01	0.9424
Энцелядъ.	635	3.87	1.3702
Ѳетида.	989	4.79	1.8878
Діона.	941	6.14	2.7369
Рея.	1225	8.57	4.5175
Титанъ.	2443	19.87	15.9454
Гиперіонъ.	330	24.08	21.2765
Япетъ.	843	57.91	79.3294
Урана.			
Аріель.	—	7.21	2.5204
Умбріель.	—	10.04	4.1442
Титанія.	910	16.47	8.7059
Оберонъ.	875	22.02	13.4633
Нептуна.			
Спутникъ	3630	14.55	5.8768


Геркулесъ
Стрѣлецъ
Козерогъ
Скорпіонъ
Антаресъ
Вѣсы
Дѣва
Колосъ
Эклиптика
Офіухъ
(Змѣедержецъ)
Змѣя
Антиной
Алтаиръ
Орелъ
Дельфинъ
Малый Конь
Водолей
Пегасъ
Рыбы
Лебедь
Денебъ
Вега
Лира
Адерамминъ
Цефей
Драконъ
Мал.Медвѣд.
Боотесъ
Арктуръ
Корона
Гемма
Сердце Карла II
Денебола
Поворотный кругъ
Поворотный кругъ Козерога
Поворотный кругъ Рака
Колуръ солнцестояній
Колуръ равноденствій
МАРТЪ
ФЕВРАЛЬ
ЯНВАРЬ
ДЕКАБРЬ
НОЯБРЬ
ОКТЯБРЬ



Звѣздная карта.

Карта сдѣлана въ стереографической проекціи.

Въ центрѣ—сѣверный полюсъ.

Рѣзкій черный кругъ—экваторъ.

Концентрическіе съ нимъ круги—параллели.

Прямыя, исходящія радіусами изъ центра,—проекціи круговъ склоненія. Во внутренней рамѣ римскія цифры: I, II, III, IV… XXIV даютъ часы прямого восхожденія, соотвѣтствующіе этимъ кругамъ, также и градусы: 30°, 60°, 90°…

Жирнымъ шрифтомъ напечатаны названія созвѣздій, курсивомъ—названія отдѣльныхъ звѣздъ.

Линіи, соединяющія звѣзды, выдѣляютъ характерныя фигуры, по которымъ можно отличать созвѣздія.

Бѣлая полоса — Млечный путь.

Кругъ, эксцентричный съ экваторомъ, пересѣкающійся съ нимъ по прямой XXIV—XII, въ точкахъ ♈ и ♎,—эклиптика.

Эклиптика прикасается къ поворотнымъ кругамъ Рака и Козерога. Прямая, соединяющая эти точки соприкосновенія,—проекція круга, который называется колуромъ солнцестояній. Прямая соединяющая