**Введение**

Знаменитый александрийский астроном, математик и географ II века н. э. Клавдий Птолемей – одна из крупнейших фигур в истории науки эпохи позднего эллинизма. В истории же астрономии Птолемею не было равных на протяжении целого тысячелетия – от Гиппарха (II в. до н. э.) до Бируни (X-XI в. н. э.).

История довольно странным образом обошлась с личностью и трудами Птолемея. О его жизни и деятельности нет никаких упоминаний у историков той эпохи, когда он жил. Если, например, о его современнике римском естествоиспытателе и враче Галене известно, что он родился в Пергаме в 129 г. н. э. и умер около 201 г., то даже приблизительные даты рождения и смерти Птолемея неизвестны, как неизвестны и какие-либо факты его биографии.

Птолемею повезло в другом. Почти все его основные сочинения сохранились и были по достоинству оценены потомками, начиная от его младших современников (Веттий Валент и тот же Гален) и кончая астрономами наших дней. Основной труд Птолемея, широко известный ныне под названием «Альмагест», был переведен с греческого на сирийский, среднеперсидский (пехлеви), арабский, санскрит, латынь, а позднее – на французский, немецкий, английский и русский языки. Вплоть до начала XVII в. он был основным учебником астрономии.

С именем Птолемея обычно связывают так называемую «систему мира Птолемея», где в центре расположена Земля, а вокруг нее по круговым орбитам обращаются Луна, Меркурий, Венера, Солнце, Марс, Юпитер и Сатурн. При этом пять планет движутся не непосредственно вокруг Земли, а по малым кругам – эпициклам, центры которых обращаются вокруг Земли по другим кругам – деферентам.

Геоцентрическая система Птолемея противопоставляется гелиоцентрической системе Коперника, который совершил поистине революционный переворот, поставив в центр нашей планетной системы Солнце и низведя Землю до положения рядовой планеты, и якобы устранил эпициклы, показав, что они были нужны лишь для представления движения Земли вокруг Солнца.

Эта упрощенная схема, глубоко укоренившаяся среди многих лекторов, учителей, студентов и даже научных работников, на самом деле в лучшем случае неточна, а кое в чем ошибочна.

Те иллюстрации, которые изображают в книгах «систему Птолемея», это лишь грубые эскизы, отражающие только некоторые при знаки его системы: центральное положение Земли и наличие деферентов и эпициклов. Но Земля у Птолемея не совпадала с центрами деферентов, а положение эпициклов и самих планет на них зависело от положения Солнца; в теории планетных движений Птолемея фигурировали и другие круги (эквант, эксцентр).

В «Альмагесте» Птолемей широко использует результаты наблюдений и построения своего великого предшественника Гиппарха (II в. до н. э.). Надо сказать, что и о жизни Гиппарха мы имеем не больше сведений, чем жизни Птолемея. Даты его рождения и смерти неизвестны. Известно, что он родился в городе Никее, в Вифинии, а большую часть своих наблюдений провел на острове Родос.

За последние 200 лет не раз возникал вопрос, какие наблюдения и результаты заимствованы Птолемеем у Гиппарха, а какие принадлежат самому Птолемею. Дело в том, что подлинные сочинения Гиппарха до нас не дошли (за исключением небольшого «Комментария к Арату»), и вопрос этот приходится решать косвенными путями. Практически все, что известно о работах Гиппарха узнали благодаря их изложению в «Альмагесте» Птолемея. То же можно сказать и о многих других наблюдениях и математических исследованиях древнегреческих и вавилонских астрономов. Благодаря этому «Альмагест» стал своеобразной энциклопедией астрономии древности.

Не случайно «Альмагест» был переведен за полтора тысячелетия на столько языков и служил учебником астрономии во многих странах мира. Каждый уважающий себя ученый Арабского Востока и Средней Азии считал своим долгом составлять комментарии к «Альмагесту». Некоторые из них подвергали те или иные положения Птолемея критике. Среди этих ученых назовем аль-Фергани (IX в.), Сабита ибн Корру (836 – 901), его внука Ибрагима ибн Синана (908 – 946), аль-Баттани (850 – 929), аль-Фараби (870 – 950), Абу-ль-Вафу (940 – 998), Ибн аль-Хайсама, он же Альхазен (965 – 1039), Бируни (973 – 1048), Насир ад-Дина ат-Туси (1201 – 1274). Этот список можно было бы значительно расширить.

Коперник и Кеплер в своих работах также исходили из построений Птолемея. Первый из них превратил геоцентрическую систему Птолемея в гелиоцентрическую, но сохранил принцип равномерного движения по кругам и широко использовал математический аппарат Птолемея. Второй, отказавшись от этого принципа, тем не менее использовал построения Птолемея, чтобы найти истинную форму планетных орбит.

Кроме «Альмагеста» Птолемей оставил ряд других сочинений, причем не только по астрономии, но и по математике, оптике, географии, музыке. Ему принадлежит разработка основ математической картографии и составление списка координат 8000 географических пунктов (определенных, правда, весьма приближенно).

У Птолемея не было (насколько известно) помощников и коллег. Неизвестно, был ли у него учитель и оставил ли он сам после себя учеников. Предшественник Птолемея Гиппарх жил и работал за 300 лет до него, а ученые Арабского Востока приняли от Птолемея своеобразную научную «эстафету» лишь семь веков спустя.

По-видимому, своими успехами в области астрономии Птолемей во многом обязан знаменитой Александрийской библиотеке, которой он широко пользовался. Так стали ему известны труды Гиппарха (не дошедшие до нас), а также таких древнегреческих ученых, как Метон (V в. до н. э.), Евклид, Аристотель, Каллипп (IV в. до н. э.), Аристилл, Тимохарис, Архимед, Аристарх Самосский, Эратосфен (III в. до н. э.), Аполлоний Пергский (III – II вв. до н. э.). Птолемей широко использовал так же наблюдения астрономов Вавилона, не называя их, правда, по именам. Это в основном наблюдения лунных и солнечных затмений, а также некоторых других явлений (покрытий звезд Луною, соединений планет), проводившиеся вавилонскими астрономами начиная с III в. до н. э. Эти наблюдения послужили Птолемею для создания теории движения Луны, которой пользовались десятки поколений астрономов, моряков, путешественников.

Рассмотрим историческую обстановку, в которой пришлось жить и работать Птолемею, дадим краткий очерк развития астрономии в Вавилоне и в Древней Греции от Метона до Гиппарха (V – II вв. до н. э.), познакомимся с содержанием «Альмагеста» и с основными научными результатами, которые в нем освещаются.

**Место и время действия**

Город Александрия, в котором протекала научная деятельность Клавдия Птолемея, был основан Александром Македонским в 332 г. до н. э. Вскоре он стал столицей новой (последней) династии египетских царей, ведущих свой род от диадоха (полководца) Александра Македонского – Птолемея Лага. Поэтому и основанную им династию принято называть династией Птолемеев. Впрочем, пятнадцать царей этой династии носили имя Птолемей.

Последней правительницей Египта из этой династии была известная царица Клеопатра. Потерпев поражение в войне против римского полководца Гая Октавия (ставшего вскоре императором под именем Октавиана Августа), Клеопатра в 30 г. до н. э. покончила с собой. Египет был покорен Римом и получил статус римской провинции. Династия царей Птолемеев пресеклась вместе с гибелью Клеопатры.

Вопреки неоднократно высказывавшемуся мнению, астроном Клавдий Птолемей не имеет никакого отношения к царской династии Птолемеев. Начало версии о царском происхождении Клавдия Птолемея положил, вероятно, один из переписчиков сочинений Галена, который написал после имени Птолемея, что он был «царем Египта» .

Очевидно, что сам Гален не мог этого написать. Он прекрасно знал, кто такой Клавдий Птолемей, а кроме того, будучи римлянином, не мог не знать, что никакого царства в Египте нет, что это – римская провинция, управляемая наместником, а, значит, там не может быть никакого царя. Переписчик же, живший одним или несколькими веками позже, легко мог спутать Клавдия Птолемея с царями династии, правившей в Египте за несколько веков до него. Он мог просто не знать истории и, делая свое «пояснение», был, вероятно, глубоко убежден, что этим он поможет будущим читателям труда Галена.

Клавдий Птолемей был просто тезкой египетских царей. В этом нет ничего удивительного, потому что обычай давать детям имена царей или полководцев был в те времена довольно распространен.

Есть и другая версия, согласно которой Птолемей родился в городе Птолемаиде Гермийской (Верхний Египет, севернее Фив, на берегу Нила) и, как обычно делали в то время, получил прозвище по месту рождения. Потом Клавдий Птолемаидский превратился в Клавдия Птолемея. По мнению известного историка науки П. Таннери (1843 – 1904), Птолемей родом из Пелусия (у впадения самого восточного рукава Нила в Средиземное море). Однако все эти версии не имеют серьезного исторического основания. К тому же городов под названием Птолемаида было в Египте несколько.

К началу II в. н. э. Александрия была большим по тем временам городом (в нем жило около 30 тыс. человек), столицей провинции, крупным торговым центром, связанным морскими путями с Римом, Афинами, Антиохией, со многими другими центрами Средиземноморья, с Сирией, Персией, Индией и другими странами Востока.

Гордостью Александрии была знаменитая библиотека. Она была основана в правление Птолемея II Филадельфа (282 - 246 гг. до н. э.). Здесь были собраны все основные научные и литературные сочинения той эпохи. Библиотекой руководили крупнейшие ученые. Так, одним из первых ее хранителей был знаменитый астроном и географ Эратосфен (276 – 194 г. до н. э.), занявший эту должность в 225 г. до н.э. К I в. до н э. в библиотеке насчитывалось уже 700 тыс. папирусных свитков. Слава об Александрийской библиотеке заставила пергамского царя Евмена II основать аналогичную библиотеку в Пергаме.

Постепенно центр научной мысли переместился из Греции в Александрию. Здесь жили и работали такие известные ученые древности, как математики Евклид (365-ок. 300 г. до н. э.), Аполлоний Пергский (ок. 260 ок. 170 до н. э.), астрономы Аристилл и Тимохарис (111 в. до н. э.) и др.

Александрийская библиотека была частью Музея (храма муз), при котором были зоологический и ботанический сад, а также обсерватория. В помещениях Музея жили приезжавшие в Александрию для научной работы ученые.

Расцвет науки в этот период отражал расцвет рабовладельческих государств, таких, как Рим, Карфаген, Пергам, Египет, держава Селевкидов в Месопотамии, и др. Впоследствии все остальные государства были поглощены Римом и превратились в римские провинции.

Жизнь и деятельность Клавдия Птолемея протекала в условиях начавшегося упадка рабовладельческого общества. Античная наука тоже переживала упадок. На горизонте уже не было таких фигур, как Платон, Аристотель, Демокрит, Пифагор, Евдокс, Архимед, Гиппарх. Более того, их не было уже давно – почти три столетия. Клавдий Птолемей – «последний из могикан» античной науки. Уже только поэтому его личность должна привлечь наше внимание.

По свидетельству Олимпиодора (биографа Платона, жившего в Александрии в середине VI в. н. э.), Птолемей «в течение 40 лет жил в так называемых Крыльях Канопа, посвятив себя астрономии, о чем свидетельствуют высеченные им на каменных табличках его астрономические открытия». Этот текст Олимпиодора для нас очень важен, поскольку Олимпиодор несомненно сам видел те места, где жил и работал Птолемей. Поэтому остановимся немного на содержании этого текста.

Каноп (ныне Абукир) – городок, расположенный в западной части дельты Нила, на берегу Средиземного моря, в 25 км к северо-востоку от Александрии. Там находился храм Сераписа – бога природы, а в боковых приделах храма («крыльях») располагалась школа, основанная еще царями Птолемеями. Там же жил и работал Клавдий Птолемей. Некоторые результаты своих исследований он действительно велел вырубить на каменной колонне, и этот текст, получивший название «Канопской надписи», дошел до нас.

Как уже говорилось, точные даты жизни Птолемея нам неизвестны. Упоминаемые в «Альмагесте» астрономические наблюдения выполнены между 127 и 141 г. н. э. Очень важно содержащееся в «Канопской надписи» указание, что она исполнена на 10-й год правления римского императора Антонина Пия, т. е. в 146 или 147 г. Как доказал английский исследователь Н. Гамильтон, «Канопская надпись» по времени предшествует «Альмагесту», и можно полагать, что «Альмагест» был закончен около 50 г. н. э.

Правомочно ли на основании подобных сведений сделать какие-либо твердые выводы о годах жизни Птолемея? Вспомним слова Олимпиодора о том, что Птолемей прожил в Крыльях Канопа 40 лет, посвятив себя астрономии. К сожалению, различные авторы по-разному трактуют это важнейшее свидетельство. Так, Николай Коперник в своем труде «О вращениях...» пишет, что Птолемей в течение 40 лет проводил свои астрономические наблюдения, хотя точные сведения имеются только о 15 годах (127 – 41 гг.) . А П. Таннери, ссылаясь на того же Олимпиодора, пишет, что Птолемею было 40 лет, когда он вел свои наблюдения. Другие авторы, начиная с И. Л. Дрейера, восприняли это так, что Птолемей начал свои наблюдения в возрасте 40 лет, откуда и «вычислили» год его рождения – 87 г. н. э.

Посмотрим теперь, какие годы жизни приписывают Птолемею различные авторы. Вот небольшая сводка:

Ф. Болл, 1894 ок. 90 – ок. 160 г.

И. Л. Дрейер, 1907 ок. 87 – 165 г.

М. Ф. Субботин, 1955 ок. 168 г.

Дж. Тумер, 1984 100 г. – 175 г.

Что касается года смерти Птолемея, то, арабские источники указывают, что он прожил 78 лет. Но среди приведенных выше предполагаемых дат смерти Птолемея одна имеет намного большую вероятность, чем остальные. Это – 165 г. В этот год по Египту прошла страшная эпидемия чумы, захватившая также Малую Азию, Италию и часть Средней Европы. Весьма возможно, что эта болезнь унесла и жизнь Клавдия Птолемея. Предполагают, что Птолемей умер в Канопе.

Таким образом, вероятными годами жизни Птолемея следует признать 100 – 165 гг. н. э. В 27 лет он приступил к своим астрономическим наблюдениям и вел их в течение 14 лет. Затем около девяти лет он работал над главным трудом своей жизни – «Альмагестом». В ходе подготовки «Альмагеста» он написал предварительное изложение своих взглядов и теорий – «Канопскую надпись». После окончания «Альмагеста» он написал еще одно сочинение в четырех книгах, посвященное астрологии, но не стал включать его в «Альмагест» и выпустил отдельно под названием «Тетрабиблос», что означает «Четырехкнижие».

К моменту окончания работы над «Альмагестом» Птолемею было уже около 50 лет. Но он был еще бодр и продолжал работать: скорее всего, именно в этот период он написал свои «Оптику» и «Географию», а также несколько мелких сочинений, как дошедших, так и не дошедших до нас. Эпидемия чумы прекратила его плодотворную деятельность.

Птолемей был материально обеспеченным человеком и мог целиком посвятить себя науке: сперва ее изучению, а потом научным исследованиям. Ничего не известно об источниках его доходов. Был ли он владельцем какого-то хозяйства, приносившего доход, или, как многие ученые эпохи эллинизма, получал постоянное содержание от властей?

Известные нам материалы не дают ответа на этот вопрос. Но один любопытный факт заслуживает упоминания.

На восьмом году правления римского императора Антонина Пия (144/145 г. н. э.) в Александрии была выпущена серия из 12 медных монет с изображениями знаков зодиака. На всех монетах отчеканена восьмиконечная звезда и мифологические изображения семи планет (включая Солнце и Луну) . Их расположение по знакам зодиака соответствует гороскопу императора. Очевидно, что эта серия была выпущена к 60-летию Антонина Пия. Весьма вероятно, что Клавдий Птолемей принимал участие в составлении императорского гороскопа (он ведь занимался астрологией) и в выпуске этой серии монет. Но золотые и серебряные монеты чеканили только в Риме, поэтому в Александрии пришлось удовольствоваться медными.

**Астрономия в Вавилоне и Греции до Гиннарха**

Рассмотрим работы, которые были так или иначе использованы Птолемеем.

Наиболее старые из использованных им наблюдений были произведены в Вавилоне в конце VIII в. до н. э..

Город Вавилон – один из древнейших городов на Земле. Он основан в третьем тысячелетии до н. э. и длительное время был столицей Вавилонского царства. Но к VIII в. до н. э. Вавилон был покорен другой мощной державой – Ассирией. Тем не менее город Вавилон сохранил свое значение как богатый торговый и культурный центр. Вавилонские жрецы, которые, собственно, и занимались астрономией, вели и записывали наблюдения редких небесных явлений: затмений Солнца и Луны, появлений комет и некоторых других небесных тел. Эти наблюдения они вели и в эпоху ассирийского владычества (от 747 до 606 г.), и в эпоху Нововавилонского царства (от 605 до 538 г.), и в эпоху, когда Вавилон стал частью Персидской монархии (от 538 до 332 г.). Именно в эти эпохи и были выполнены наблюдения лунных затмений, использованные сперва Гиппархом, а затем Птолемеем для построения теории движения Луны. Самое первое из них произошло 19 марта 721 г., а последнее, наблюдавшееся в Вавилоне, 12 декабря 382 г.

Вавилонские астрономы записывали даты наблюдений по годам царствования своих царей, например «второй год Мардокемпада, месяц фаменот, 15-е число». Птолемей был вынужден привести все эти даты к единой эре, в качестве которой он выбрал эру от начала царствования Набонассара (747 г.), причем первым считался месяц тот по египетскому календарю (вавилонские жрецы использовали в то время египетские названия месяцев и вообще египетский календарь). Для того чтобы переводить все даты в единую эру, Птолемей составил хронологическую таблицу царствований вавилонских царей (начиная от Набонассара), персидских царей (от Кира до Дария III), Александра Македонского и египетских Птолемеев и, наконец, римских императоров от Октавиана Августа (стал императором в 30 г.) до Антонина Пия, при котором Птолемей жил и работал (начало царствования 137 г. н. э.). Эта таблица была включена Птолемеем в «Справочные таблицы», выпущенные им отдельно. В реконструированном виде она приводится в английском издании «Альмагеста» под ред. Дж. Тумера, где все даты даны в современном летоисчислении.

При датировке использованных им наблюдений, выполненных в Греции и в самой Александрии, Птолемею пришлось иметь дело с другими календарными системами. Он сумел привести их к единой системе, так что датировка всех наблюдений независимо от их времени и места определяется однозначно.

От вавилонских математиков и астрономов Птолемей позаимствовал шестидесятиричную систему счисления.

Эта система используется и в наши дни при счете углов и интервалов времени.

Обратимся астрономии древних греков. Первые работы греческих астрономов относятся к построению календаря. Около 434 г. астроном Метон ввел 19-летний цикл, получивший впоследствии название метонова цикла. Этот период содержит 6940 суток и почти в точности равен длительности 235 лунных (синодических) месяцев. В самом деле, поделив 6940 на 235, получаем среднюю длительность синодического месяца:

В цикле Метона 29,531914 суток

По современным данным 29,530588 суток

Иначе говоря, точность метонова лунного месяца составляла 2 минуты.

Средняя длительность года в метоновом цикле составляла 365,26316 суток, что на 19 минут длиннее введенного четырьмя столетиями позднее юлианского года (365,25 суток) и на 30 мин – действительной длительности тропического года в эпоху Метона (365,2425 суток).

Нужно сказать, что календарная система в Вавилоне и Греции была в ту эпоху очень сложной. Согласовать солнечный тропический год с лунным синодическим месяцем было очень трудно из-за их несоизмеримости. Лунный год, состоявший из 12 лунных месяцев, содержал (с округлением до целых суток) 354 суток, что было на 11 с лишним суток меньше тропического года. Поэтому в некоторые годы (примерно раз в три года) добавляли тринадцатый месяц, так что такой год содержал уже 384 суток.

Метонов цикл значительно облегчал работу по составлению календаря. Он давал простое соотношение между годом и лунным месяцем. Кроме того, по номеру года в цикле можно было легко узнать все даты в этом году, поскольку по истечении цикла они повторялись.

Цикл Метона использовался еще в Вавилоне, так что неизвестно, заимствовал ли его Метон у вавилонян или определил независимо. Этот цикл использовался в течение нескольких столетий.

Столетие спустя после Метона астроном Каллипп улучшил метонов цикл, объединив 4 цикла по 19 лет и отняв от итога одни сутки. В каллипповом цикле 940 месяцев, равных в сумме 27759 суткам. Отсюда получаем длину тропического года 365,25 суток (как в юлианском календаре) и длину синодического месяца 29,530851 суток, что всего лишь на 23 с продолжительнее истинного.

Циклы Метона и Каллиппа впоследствии критически обсуждались Гиппархом, из сочинения которого «О длительности года» сведения о них позаимствовал Птолемей, в свою очередь подвергший этот вопрос критическому анализу.

Каллипп был учеником и помощником виднейшего греческого философа IV в. до н. э. Аристотеля, автора геоцентрической системы мира, где в центре мира находится Земля, а орбиты Солнца, Луны и планет изображаются кругами. Аристотель не был математиком и не ставил себе задачей создание теории планетных движений. Он резко разделял философию на теоретическую и практическую части, отдавая преимущество первой, так называемой «чистой» философии. Быть может, именно поэтому Птолемей, астроном и математик, позаимствовавший у Аристотеля геоцентрическое мировоззрение и круговую форму орбит, упоминает его в «Альмагесте» только однажды, в самом начале своего труда, там, где речь идет о классификации наук.

Много столетий спустя, католическая церковь, отметавшая все языческое, сделала своеобразное исключение для геоцентризма Аристотеля и системы мира Птолемея – они были официально признаны католической церковью как правильные представления о строении мира, не противоречащие Священному писанию.

Крупнейшим после Аристотеля греческим ученым IV в. до н. э. был Евклид, чьи труды стали основой не только греческой, но и мировой математики. Его «Начала» содержат основные постулаты (аксиомы) и теоремы, на которых в значительной мере базируется вся элементарная математика вплоть до настоящего времени. Птолемей в своих математических построениях постоянно использует «Начала» Евклида, хотя не всегда на них ссылается. По мнению Дж. Тумера, автора и редактора новейшего английского перевода «Альмагеста», среди сочинений древнегреческих авторов «Альмагест» занимает второе место после «Начал» Евклида.

III в. до н. э. дал греческой науке целую плеяду замечательных ученых – математиков и астрономов. Все они жили и работали в Александрии, которая стала к этому времени своеобразной «научной столицей античного мира».

Астрономы-наблюдатели Аристилл и Тимохарис производили, по-видимому, первые позиционные наблюдения звезд, определяли их склонения и прямые восхождения, т. е. координаты в экваториальной системе. Положения звезд они определяли относительно некоторых постоянных точек небесной сферы. Сам факт этих измерений говорит о том, что в распоряжении Аристилла и Тимохариса были угломерные инструменты с градуированными кругами, но их описания не сохранились. А. Берри полагает, что Аристилла и Тимохариса можно считать творцами первого в Европе звездного каталога в настоящем смысле этого слова, в то время как их предшественники пытались давать лишь словесные описания положений звезд в созвездиях. Кроме того, эти астрономы произвели ряд наблюдений положений планет, Солнца и Луны.

Гиппарх и Птолемей использовали эти наблюдения в первую очередь для исследования прецессии. В частности, Гиппарх сравнивал положения звезды Спики ( Девы) относительно точки осеннего равноденствия по своим наблюдениям и по наблюдениям Тимохариса и его школы. Тимохарис применял следующий способ. Он наблюдал положения Спики относительно Луны во время полных лунных затмений, происходивших в марте или апреле. Во время полного лунного затмения Луна находится точно напротив Солнца. Поэтому она в этот момент занимает такое положение относительно точки осеннего равноденствия, которое симметрично положению Солнца относительно точки весеннего равноденствия. Положения же Солнца относительно равноденственных точек определялись Тимохарисом и Аристиллом с помощью экваториального кольца.

Так, зная положения Солнца относительно равноденственных точек на каждый день года, Тимохарис и Аристилл могли определять и положения Луны во время полных лунных затмений, а значит, и положения звезд относительно этих точек.

Впоследствии Гиппарх соорудил такое же экваториальное кольцо перед храмом Родоса и использовал его для измерения положений Солнца. Он применял тот же метод определения положений звезд относительно равноденственных точек, что и Аристилл и Тимохарис, и из сравнения положений Спики в их время и в свою эпоху (интервал около 150 лет) вывел значение постоянной прецессии.

Птолемей приводит в «Альмагесте» таблицу положений нескольких звезд по наблюдениям Аристилла и Тимохариса, Гиппарха и своим собственным. Из их сравнения он тоже нашел постоянную прецессии, правда, с большой ошибкой.

Тимохарис и его школа наблюдали также покрытия звезд Луною, определяли положения планет (его наблюдения положений Венеры использованы Птолемеем в «Альмагесте») .

В отличие от Аристилла и Тимохариса, которые были лишь усердными наблюдателями, Аристарх Самосский (310 – 230 г. до н. э.) не только производил те или иные наблюдения (Птолемей использовал его наблюдения моментов летних солнцестояний), но старался глубже проникнуть в сущность мироздания. Еще современник Аристотеля Гераклид Понтийский (388 – 315 г. до н. э.) предполагал суточное вращение Земли вокруг оси, заменяя им вращение вокруг Земли всей небесной сферы. Более того, Гераклид пытался объяснить характер видимого движения Меркурия и Венеры, не отдалявшихся на небе от Солнца более чем на 29° и 48° соответственно. Гераклид полагал, что эти планеты в действительности обращаются вокруг Солнца, а не вокруг Земли. Однако в системе Гераклида Земля хотя и вращается вокруг оси, но остается в центре мира: вокруг нее движутся Луна, Солнце с Меркурием и Венерой, Марс, Юпитер и Сатурн.

Аристарх Самосский пошел дальше своего предшественника. Он был первым, кто предложил гелиоцентрическую систему мира, поместив в центре планетной системы Солнце, а Землю поставив в один ряд с другими планетами. За эту смелую идею Аристарх был обвинен в безбожии и изгнан из Афин.

До нас дошло лишь одно сочинение Аристарха, в котором он описывает свой способ определения отношения расстояний до Солнца и до Луны. Аристарх получил отношение 19:1 вместо правильного 390:1, что показывает неточность его способа. Он доказал лишь, что Солнце во много раз дальше и больше Луны.

Птолемей не ссылается на эту работу Аристарха. Он использует лишь одно его наблюдение летнего солнцестояния, а о геоцентрической системе упоминает, не называя ее автора. Впрочем, Птолемей тут же подвергает ее уничтожающей критике.

Замечательный математик, механик и инженер, Архимед (287 – 212 г. до н. э.), как и Аристарх, производил наблюдения моментов летних солнцестояний, использованных затем Гиппархом и Птолемеем. Он имел так же оригинальный взгляд на расположение планет, полагая вместе с Платоном и Эратосфеном, что Меркурий и Венера расположены дальше, а не ближе Солнца. Аргументом в пользу такой точки зрения он приводил то обстоятельство, что Меркурий и Венера никогда не закрывали собой Солнце. Птолемей не согласился с этим аргументом. Более того, его теория движении Меркурия и Венеры позволяла предсказывать моменты прохождений этих планет между Землей и Солнцем. Но Птолемей понимал, что их диски весьма малы и заслонить собой Солнце они не могут.

Птолемей использовал в «Альмагесте» также некоторые математические результаты Архимеда. Так, Архимед вывел следующие приближенные пределы для числа  (отношение окружности к диаметру): от 3,142857 до 3,140845. Сам Птолемей выбирает число 3,141667, которое отличается от правильного значения (записанного с тем же числом знаков) 3,141593 на 7,4 ×0.000005.

Выводя свою теорему о хорде половины дуги Птолемей не сообщает, что эта теорема была доказана Архимедом за пять столетий до него. Вряд ли он не знал об этом. Скорее он считал такие результаты настолько общеизвестными, что полагал возможным не называть их авторов.

Младший современник Архимеда, замечательный геометр, астроном и первый в мире картограф Эратосфен (276 – 194 г. до н. э.) впервые измерил дугу земного меридиана между Александрией и Сиеной, получив длину окружности меридиана с небывалой для того времени точностью. Это был блестящий успех античной науки. Впервые стали известны размеры земного шара.

Эратосфен считал, что Сиена и Александрия находятся на одном меридиане, причем он проходит также через Родос (имеется в виду город Родос, расположенный на одноименном острове). Это обстоятельство использовали в дальнейшем Гиппарх при сравнении своих наблюдений с наблюдениями Аристилла, Тимохариса и других александрийских астрономов и Птолемей, также сравнивавший свои наблюдения в Александрии с наблюдениями Гиппарха в г. Родосе.

Заслугой Эратосфена в астрономии является одно из первых определений угла наклона эклиптики к экватору. Этот наклон он определял как половину разности склонений точек летнего и зимнего солнцестояний. Эратосфен нашел этот угол равным 11/83 окружности, т. е. 47°42'39", откуда половина этого угла, или наклон эклиптики к экватору, равняется 23°51'20". По современным данным, наклон эклиптики к экватору в эпоху Эратосфена был равен 23°43'34". Значение Эратосфена, принятое также Гиппархом и Птолемеем, отличалось от истинного значения лишь на 8 мин дуги.

На рубеже III и II вв. до н. э. жил и работал математик Аполлоний Пергский, известный своим капитальным трудом по теории конических сечений. Разумеется, ни сам Аполлоний, ни Птолемей, использовавший в своем «Альмагесте» некоторые леммы, доказанные Аполлонием, не могли себе представить, что конические сечения – эллипс, парабола и гипербола – это и есть действительные формы планетных орбит. Оторваться от предвзятого мнения, что небесные тела могут двигаться лишь по самым «совершенным» орбитам – окружностям, оказалось под силу только Иоганну Кеплеру полтора тысячелетия спустя.

Пока же и Аполлоний, и Гиппарх, и Птолемей использовали сложные комбинации окружностей, по которым должны были двигаться планеты. Было два варианта представления планетных движений для верхних планет (Марса, Юпитера и Сатурна): с помощью эксцентра и с помощью эпицикла.

По-видимому, теория эпициклов возникла в III в. до н. э. Первое упоминание о ней связано с именем Аполлония, но об этом стало известно опять же через Птолемея.

Аполлоний – последний по времени представитель прошедшей перед нами блестящей вереницы греческих и александрийских астрономов и математиков, труды которых заложили фундамент работам Гиппарха. Конец жизни и деятельности Аполлония примерно соответствует по времени началу жизни и работы Гиппарха. Исследования Гиппарха явились необходимым этапом для работ самого Птолемея. Вряд ли Птолемей сумел бы поставить и решить многие задачи, если бы перед ним не стоял пример Гиппарха.

**Краткое содержание «Альмагеста»**

Название «Альмагест» принадлежит не самому Птолемею, оно позднейшего, притом арабского происхождения. Птолемей же писал по-гречески и назвал свое сочинение так:  («Мэгале синтаксис»), что означает «Большое построение». Слово «синтаксис» имеет несколько значений. Его можно перевести и как «трактат» и как «сочинение». В различных источниках встречаются все эти варианты перевода.

Сам Птолемей в ссылках на свою книгу часто называет ее , что означает «Математическое построение». Арабские переводчики труда Птолемея из уважения ли к его автору или просто по небрежности – превратили  («большое») в  («величайшее»), так что у арабов книга Птолемея стала называться сокращенно Al Magisti, откуда и произошло название «Альмагест».

Что же собой представляет «Альмагест»? Это весьма обширное сочинение, английский перевод его занимает более 600 страниц большого формата. «Альмагест» был разделен самим Птолемеем на 13 книг (в тексте встречаются порой ссылки на ту или иную книгу). Впоследствии переписчики, переводчики или комментаторы разделили каждую книгу еще на главы (от 5 до 19 глав в каждой книге, а всего 146 глав). В том, что деление на главы не принадлежит Птолемею, нас убеждает отсутствие в тексте его труда каких-либо ссылок на номера или названия глав.

Книги «Альмагеста» не имеют заголовков, об их содержании можно судить (если не читать весь текст) по заголовкам глав.

Книга I является вводной. В ней утверждается, что небесный свод движется как единая сфера, что Земля шарообразна, находится в центре небесной сферы, имеет по сравнению с ней ничтожно малые (точечные) размеры и неподвижна. Во второй половине книги I приводятся основы птолемеевой сферической тригонометрии и ряд полезных таблиц, а также описание некоторых простых угломерных приборов.

В книге II приводится решение ряда общих задач сферической астрономии, в книге III рассматривается движение Солнца по эклиптике и солнечная аномалия (происходящая, как мы теперь знаем, от неравномерности движения Земли вокруг Солнца по эллиптической орбите), в книге IV – видимое движение Луны и его аномалии. В книге V Птолемей строит свою теорию движения Луны, основанную на комбинации нескольких круговых движений, вводит понятия об эксцентре и эпицикле.

Книга VI посвящена теории солнечных и лунных затмений, основой для которой служат расчеты моментов сизигий (новолуний и полнолуний), а также движения Луны по широте, связанного с тем, что ее орбита наклонена к плоскости эклиптики на небольшой угол (5°00'). Здесь же приведены таблицы затмений.

Книги VII и VIII посвящены неподвижным звездам. В них приводятся описания созвездий, доступных наблюдениям в Греции и в Александрии, и знаменитый каталог звезд, составленный Птолемеем на основании наблюдений Гиппарха и своих собственных. В этом каталоге приведены положения 1025 звезд.

В книгах IX – XI строится теория движения планет, та знаменитая «система мира Птолемея», которая описывается (далеко не всегда правильно) во всех учебниках астрономии и во многих популярных книгах.

В книге XII Птолемей рассматривает попятные движения планет на небесной сфере и находит, что охватываемые ими дуги находятся в согласии с его теорией. Здесь же приводится таблица точек стояний планет (в которых планета меняет прямое движение вдоль эклиптики на попятное или наоборот). Книга XIII посвящена движению планет по широте.

Это краткое перечисление не охватывает всех вопросов, изложенных в руде Птолемея. Ему приходится, развивая свои геометрические построения, «попутно» доказывать ряд теорем, он приводит многочисленные примеры и расчеты, описывает применявшиеся приборы и методы наблюдений, а также результаты наблюдений обширного круга небесных явлений, как свои собственные, так и своих предшественников: греческих и вавилонских астрономов. В числе этих явлений солнечные и лунные затмения, покрытия звезд Луною, положения планет относительно звезд, солнцестояния, равноденствия, фазы Луны и др.

**Мировоззрение Птолемея**

«Истинные философы, Сирус, были, я полагаю, совершенно правы, отличая теоретическую часть философии от ее практической части» – такими словами Птолемей начинает «Альмагест». И дальше он проводит ту мысль, что, прежде чем приниматься за какую-либо практическую задачу, надо ясно представить себе общий смысл явлений, которые хочет анализировать и объяснять исследователь.

«Даже практическая философия,– продолжает Птолемей,– прежде чем стать практической, оказывается теоретической, несмотря на то, что очевидно большое различие между обеими; в первую очередь, для многих людей возможно обладать некоторыми из моральных достоинств, даже не обучаясь им; далее, в первом случае (практической философии) извлекают большую прибыль из постоянной практики в реальных делах, тогда как в другом случае (теоретической философии) – путем совершенствования в теории».

Деление философии на теоретическую и практическую заимствовано Птолемеем у Аристотеля. Надо сказать, что в ту эпоху (и много позднее тоже) философией называли науку о природе вообще. Теоретическая философия делилась на три раздела: теологию, математику и физику. Это деление принимает и Птолемей.

«Первопричину первого движения вселенной, попросту говоря, можно рассматривать как некое невидимое и не подвижное божество; раздел теоретической философии, изучающий это, может быть назван теологией, поскольку этот вид деятельности можно представить себе только гдето высоко, вплоть до высочайших пределов вселенной, и он полностью отделен от ощутимой реальности»,– пишет Птолемей.

Дальше он дает определения физики и математики. Физика, по Птолемею, изучает материю и вечно движущуюся природу, а также качества типа «белый», «влажный», «сухой», «теплый» и им подобные, относящиеся к разложимым на составные части телам, находящимся под сферой Луны (как принято говорить, «в подлунном мире»). «Над лунный мир» – область приложения математики.

Математика, по Птолемею, изучает числа, а также форму, размеры, место, время и другие свойства, выражаемые числами. И не случайно свое сочинение он назвал математическим построением.

В своем мировоззрении Птолемей почти точно следует Аристотелю. И дело, разумеется, не столько в геоцентризме обоих, сколько в их взгляде на основные категории бытия. Вслед за Аристотелем Птолемей считает все сущее состоящим из материи, формы и движения, причем ни одна из этих категорий не может существовать без двух других. Это значит, что материя не может существовать без движения и движение нельзя себе представить без материи.

Уже из приведенных выше выдержек из «Альмагеста» ясно, что Птолемей допускал (вместе с Аристотелем) «первый толчок», допускал существование Божества. Но это Божество играет во взглядах Птолемея весьма ограниченную роль: оно только создало и пустило в ход «небесный механизм», управляющий движениями светил небесных. Больше о Боге и о его влиянии на процессы во Вселенной в «Альмагесте» не говорится ничего.

Более того, приведя описанную выше схему классификации наук, Птолемей отдает явное предпочтение математике перед теологией и физикой. Вот как он это аргументирует: «Из всего этого мы заключаем, что первые два раздела теоретической философии должны быть названы скорее предположениями, чем знанием: теология – вследствие ее совершенно невидимой и неуловимой природы, физика – вследствие непостоянной и неясной природы материи ...только математика может обеспечить надежное и нерушимое знание для ее энтузиастов при условии строгого к ней подхода».

Не приходится удивляться столь критическому суждению Птолемея о физике. Было общепринято предложенное еще Гераклитом (ок. 544 – 484 до н. э.) разделение всех веществ на четыре элемента: землю, воду, воздух и огонь. Аристотель изобразил даже четыре сферы, расположенные концентрически снизу вверх: сфера земли, сфера воды, сфера воздуха и сфера огня. Земля – холодная и сухая, во да – холодная и влажная, воздух – теплый и влажный, огонь – теплый и сухой. За сферой огня следует уже сфера Луны, а затем – сферы других планет и сфера звезд.

Несмотря на то что Птолемей и сам занимался некоторыми вопросами физики (например, оптикой), он от дает решительное предпочтение математике и астрономии. В дальнейшем он применит эти точные науки для нужд географии, точнее, геодезии, а математику – еще и к теории музыки.

Не лучше, чем к физике, выглядит отношение Птолемея и к теологии. Теология его описании предстает перед нами как нечто столь же возвышенное, сколь и неясное, Правда, у Птолемея есть целый труд, посвященный астрологии,– «Четырехкнижие». В «Четырехкнижии» Птолемей пытается обосновать некие физические воздействия небесных светил на земные явления, иначе говоря, он пытается под вести некоторый физический «базис» под астрологические представления.

Таким образом, по своим религиозным убеждениям Птолемей был весьма умеренным деистом, иначе говоря, он признавал существование Бога, но не приписывал ему никаких конкретных функций, за исключением создания мира и первого толчка».

С этой точки зрения историческим курьезом является то обстоятельство, что спустя тысячу лет учения Аристотеля и Птолемея были официально признаны католической церковью как истинные. Правда, произошло это далеко не сразу. Первые переводы трудов Аристотеля и Птолемея на латинский язык появились в Европе в конце XII в; это были переводы с арабского. Переводы работ Аристотеля непосредственно с греческого были сделаны (Вильгельмом Мербекским) уже в 60-х годах XIII в. Вскоре после этого взгляды Аристотеля подверглись жестоким нападкам со стороны доминиканцев, в первую очередь Альберта Великого (1206 – 1280) и Фомы Аквинского (1225 – 1274). Вместе с тем оба они приложили немало усилий, чтобы с помощью хитроумно составленных комментариев приспособить, адаптировать учение Аристотеля к канонам христианской религии. Альберт Великий положительно относился и к системе мира Птолемея. В начале XIV в. она приобрела известное влияние в Европе, а в середине XIV в. получила полное признание сначала во Франции, а потом и в других странах.

Рассмотрим геоцентризм Птолемея, опираясь на его собственное изложение в I книге «Альмагеста». Доказав, что небесный свод подобен сфере, а также, что и Земля имеет форму шара, Птолемей переходит к доказательству того, что Земля находится в середине небесного свода, в центре небесной сферы.

Птолемей доказывает это утверждение от противного. Если Земля не находится в центре небесной сферы, то она должна быть либо смещена к одному из полюсов мира, либо вообще не должна находиться на оси мира. В первом случае горизонт делил бы небесную сферу на две неравные части (та, что прилегает к ближайшему полюсу, была бы меньше), во втором случае звезды при вращении небесной сферы то приближались бы к Земле, то удалялись бы, меняя свой блеск, а Солнце и Луна – видимые размеры. Поскольку ни то, ни другое не наблюдается, значит, Земля находится в центре небесной сферы. Дальше Птолемей доказывает (совершенно правильно), что размеры Земли ничтожно малы по сравнению хотя бы со сферой «неподвижных звезд», что ее по сравнению с этой сферой можно принимать за точку. Доказательство состоит в том, что из разных мест земного шара небесные светила кажутся одинаковых размеров в любое время. Это означает, что размеры Земли действительно ничтожно малы по сравнению с расстояниями до небесных тел.

Доказательства центрального положения Земли основаны на двух ошибочных предположениях. Во-первых, это предположение о том, что размеры небесной сферы, хотя и очень велики, но конечны, а потому смещение Земли внутри небесной сферы к одному из полюсов приведет к неравенству северного и южного сегментов (здесь уже нельзя сказать «полусфер»). Во-вторых, это предположение, что суточное вращение небесной сферы происходит само по себе, независимо от Земли. Но мы знаем, что это вращение является лишь отражением реального вращения Земли вокруг оси, а потому второе предположение Птолемея ошибочно в своей основе. Что касается первого предположения, то несомненно, что Птолемей обсуждал все возможные последствия сдвига Земли из центра сферы, пользуясь моделью, где маленький шарик (Земля) находился внутри большого полого шара (небесной сферы). Мы знаем, что расстояния до звезд настолько велики, что даже движение Земли вокруг Солнца по орбите диаметром 300 миллионов километров не приводит к заметным смещениям звезд. Эти смещения (годичные параллаксы звезд) оказались столь малы, что понадобилось 17 столетий после Птолемея и два с лишним столетия после изобретения телескопа, чтобы они смогли быть обнаружены.

После доказательства центрального положения Земли Птолемей доказывает ее неподвижность в пространстве. В самом деле, утверждает он, если бы Земля имела какое-либо движение, она бы смещалась со своего центрального положения, и тогда имели бы место те же эффекты, как и в случае нецентрального положения Земли относительно небесной сферы. Но так как эти эффекты не наблюдаются, значит, Земля неподвижна.

Вторым доказательством неподвижности Земли, которое приводит Птолемей, является вертикальное свободное падение тел во всех местах Земли. Все тела стремятся к центру, и поскольку они падают вертикально вниз на всех широтах Земли, значит, она и есть этот центр. И если бы земная поверхность не преграждала путь падающим телам, они падали бы дальше вниз, до самого центра Земли. И хотя Земля велика и тяжела, не следует удивляться тому, что она никуда не падает и не требует опоры. Ведь Земля мала по сравнению с Вселенной, которая оказывает на нее равномерное давление со всех сторон, а потому Земля и не может никуда сдвинуться. Земля тяжелее известных нам падающих тел, а потому, если бы она тоже могла куда-нибудь падать, она падала бы быстрее, и мы не могли бы этого не заметить.

Здесь же Птолемей объясняет понятия верха и низа: низ – это направление к центру Земли, верх – направление, ему противоположное. Тяжелые, плотные тела стремятся вниз, легкие, разреженные – вверх. Направления «вверх» и «вниз» различны в разных пунктах Земли.

Дальше Птолемей вступает в полемику со сторонниками вращательного движения Земли, не называя их, правда, по именам. Очевидно, он имеет в виду Гераклида Понтийского и Аристарха Самосского, считавших, что суточное вращение совершает Земля, а не небо. Птолемей признает, что среди небесных явлений нет ничего, противоречащего гипотезе о вращении Земли, но совсем иначе обстоит дело с явлениями на земле и в воздухе. «Они должны допустить,– пишет Птолемей,– что вращательное движение Земли должно быть самым быстрым из всех движений, связанных с ней, учитывая, что Земля должна совершать одно обращение за столь короткое время; в результате все предметы, не опирающиеся на Землю, должны казаться совершающими такое же движение в обратном направлении; ни облака, ни другие летающие или парящие объекты никогда не будут видимы движущимися на восток, поскольку движение Земли к востоку будет всегда отбрасывать их, так что эти объекты будут казаться движущимися на запад, в обратном направлении». Даже если предположить, рассуждает далее Птолемей, что и воздух движется в том же направлении и с той же скоростью, что и Земля, плавающие и парящие в воздухе тела не должны следовать его движению. Если же они связаны с воздухом так, что следуют его движению, то нам они казались бы неподвижными, чего на самом деле нет.

Так Птолемей «опровергает» взгляды сторонников вращения Земли. Некоторые его доводы сейчас могут по казаться наивными, но не надо забывать, что и полтора тысячелетия спустя именно к таким доводам прибегали противники Коперника и Галилея. Именно эти доводы заставляет Галилей в своих «Диалогах» приводить защитника системы Птолемея – Симпличио.

Но в приведенных выше рассуждениях Птолемея, кроме тех наивных аргументов, есть и здравые мысли. Справедлива мысль Птолемея, что ход небесных явлений не противоречит гипотезе о вращении Земли. Птолемей прав и в том, что вращательное движение Земли быстрее всех прочих известных в ту эпоху движений. Если бы он попробовал вычислить ее скорость (а у него были для этого все необходимые данные: окружность Земли по Эратосфену и широта Александрии), он нашел бы эту величину равной 385 м/с, что в десять раз быстрее ураганного ветра. Но он не мог понять, что воздух увлекается вращением Земли, а все плавающие или летающие в воздухе тела тоже участвуют во вращении Земли.

Таким образом, Птолемей предстает перед нами как последовательный геоцентрист. Но свой геоцентризм он старается обосновать соображениями, основанными на физике явлений, а не схоластическими рассуждениями или ссылками на авторитеты.

Математическое описание движений планет, Солнца и Луны в системе мира Птолемея достигло такой точности, что позволяло предвычислять положения этих светил на небе, а также наступление не которых небесных явлений, связанных с их движением (например, солнечных и лунных затмений), с весьма высокой для того времени точностью. Таким образом, математическая модель Птолемея имела большую прогностическую ценность.

В то же время христианская церковь в странах Европы в результате ряда объективных факторов взяла на себя роль «хранителя учености». От периода заката античной науки (совпавшего с развитием христианства) и до начала эпохи Возрождения христианские богословы были практически единственными носителями знания. Отдавая первенствующее место среди наук того времени богословию и подчеркивая его превосходство над философией, они, начиная с XIII в., адаптировали, приспособили для своих целей идеи Аристотеля и математические построения Птолемея.

Эти причины способствовали сохранению господства системы Птолемея в науке на протяжении полутора тысяч лет.

**Теория движения планет**

Рассмотрим планетную теорию Птолемея, его знаменитую «систему мира». Теория движения планет охватывает книги IX – XIV «Альмагеста».

Основные свойства планетных движений, деферентов и эпициклов в системе Птолемея таковы.

1. Земля, центры эпициклов Меркурия и Венеры и Солнце всегда лежат на одной прямой. Следовательно, период обращения центров эпициклов Меркурия и Венеры вокруг Земли равен в точности одному году.

2. Периоды обращения Меркурия и Венеры по эпициклам различны; они меньше года и составляют соответственно для Меркурия 88 сут, для Венеры 225 сут.

3. Центры эпициклов Марса, Юпитера и Сатурна обращаются по своим деферентам за различные промежутки времени: от 687 сут для Марса до почти 30 лет у Сатурна.

4. Марс, Юпитер и Сатурн обращаются по эпициклам ровно за один год.

5. Плоскости деферентов Меркурия и Венеры совпадают с плоскостью эклиптики; плоскости эпициклов Марса, Юпитера и Сатурна параллельны плоскости эклиптики.

6. Плоскости эпициклов Меркурия и Венеры, деферентов Марса, Юпитера и Сатурна наклонены к плоскости эклиптики на малые углы (не более 7' в случае Меркурия).

7. Радиусы эпициклов Марса, Юпитера и Сатурна, соединяющие центр эпицикла с планетой, всегда параллельны направлению Земля – Солнце.

Эти свойства ясно показывают, что, во-первых, условия движения нижних и верхних планет существенно различны. Во-вторых, определяющую роль в движении и тех и других планет играет Солнце.

Тщательный анализ этих свойств планетарных движений привел бы Птолемея к простому выводу, что Солнце, а не Земля - центр планетарной системы.

Птолемей нашел способ выяснить, хотя бы приблизительно, размеры планет в сравнении в Землей. Еще Гиппарх, согласно свидетельству Птолемея, говорил, что видимый диаметр Солнца в 30 раз больше, чем у наименьшей (т. е. самой слабой) звезды. В этом рассуждении есть доля истины. Ведь угол в одну минуту дуги (1/30 видимого диаметра Солнца) – это как раз предел разрешающей способности человеческого глаза. Источники света с меньшими угловыми диаметрами представляются нашему глазу точками. В то же время известно, что более яркие звезды кажутся крупнее. Вот почему Птолемей в своем сочинении «Планетные гипотезы», написанном после «Альмагеста», оценивает видимый диаметр Венеры в 1/10 солнечного, Юпитера – в 1/12, Марса – в 1/20, Меркурия – в 1/15, Сатурна – в 1/18. Эти видимые размеры отнесены к средним расстояниям планет от Земли.

Птолемей знал величину земного радиуса в линейных единицах (стадиях) хотя бы по измерениям Эратосфена. Полученное им среднее расстояние до Луны лишь на 20 % меньше действительного. Но среднее расстояние до Солнца занижено уже в 20 раз (а с ним и линейные размеры Солнца), расстояние до Юпитера – в 9 раз, до Сатурна – в 12 раз. Таким образом, масштабы нашей планетной системы были занижены Птолемеем примерно на порядок. Но даже эти оценки были большим достижением, ибо они показывали, что межпланетные расстояния намного больше любых земных масштабов.

Размеры планет у Птолемея близки к реальным. Он, так же как и мы, считал самой большой планетой (после Солнца) Юпитер, потом шел Сатурн, но они превосходили Землю по диаметру в 4,4 – 4,3 раза, тогда как на самом деле они больше Земли в 11 и 9 раз. Марс, по Птолемею, был чуть больше Земли (в действительности он вдвое меньше). Для Луны получилось почти правильное соотношение, но Венеру Птолемей считал чуть меньше Луны, а Меркурий – почти в 8 раз меньше (его размеры преуменьшены в 10 раз). Тем не менее и размеры планет по порядку величины Птолемей представлял себе правильно.

Отсюда был один шаг до признания Земли рядовой планетой, но и этого шага Птолемей не решился сделать.

В девятой книге «Альмагеста» есть любопытное указание на то, что число возвращений верхней планеты к той же точке зодиака и число ее обращений по эпициклу в сумме равно числу солнечных лет.

Переход к гелиоцентрической системе был невозможен для Птолемея. Он считал Землю находящейся в центре мира, приводил ряд доводов в пользу этого взгляда и не мог от него отказаться. Такой шаг был под силу только Копернику. И только через четырнадцать веков.

**Работы Птолемея в области географии**

Работы в области астрономии являются основными в научном творчестве Птолемея. Основные, но не единственные. Большой вклад внес Птолемей в математическую картографию, оптику, теорию музыки (гармонию).

До Птолемея география в античном мире носила чисто описательный, страноведческий характер. Обширные описания различных стран и народов, их быта, обычаев, верований оставил нам замечательный историк географ древности Геродот (ок. 480 – 425 до н. э.) . Но если страны, относящиеся к Средиземноморью и к берегам Черного моря, описаны им достаточно подробно и с весьма ценной информацией, то об Индии, Аравии и странах, находившихся на севере от Причерноморья, Геродот сообщает множество сказочных небылиц.

Военные походы (Ксенофонта в V в. до н. э., Александра Македонского в 332 – 322 гг. до н. э.) использовались для изучения и описания тех стран, по которым пролегал путь завоевателей. Ксенофонт в своем «Анабазисе» дал описание Малой Азии и Армении. Полководцы Александра Македонского и ученые, сопровождавшие его армию, составили описание Индии. Армию Александра со провождали специальные «счетчики шагов», которые должны были измерять расстояния между населенными пунктами, считая шаги. По описаниям и подсчетам участников походов карту известной области Земли, *Ойкумены*, составил Дикеарх из Мессины (ученик Аристотеля).

Это направление в географии античного периода заключает «География» Страбона (65 г. до н. э.– 2 г. н. э.) в семнадцати книгах. Хотя Страбон в течение своей долгой жизни совершил несколько далеких путешествий, большая часть его описаний основана не столько на его собственных наблюдениях, сколько на обобщении описаний других авторов. Первые две книги его «Географии» носят вводный характер, в книгах III – X описывается Европа, в книгах XI – XVI – Азия, в книге XVII – Африка. Страбон много описывал такие явления, как землетрясения, извержения вулканов, работа рек, а также климат различных поясов земного шара. То, что Земля имеет шарообразную форму, Страбон знал, опираясь на данные Эратосфена, но он предпочитал собирать сведения о тех или иных странах у путешественников и моряков, а не использовать методы математической картографии.

Основы второго направления в географии – математической картографии – заложил Эратосфен, весьма точно определивший размеры земного шара.

Как известно, метод Эратосфена заключался в определении дуги меридиана между Александрией и Сиеной в день летнего солнцестояния. В этот день, по рассказам лиц, посещавших Сиену, Солнце в полдень освещало дно самых глубоких колодцев и, значит, проходило через зенит. Следовательно, широта Сиены равнялась углу на клона эклиптики к экватору, который Эратосфен определил в 23° 51' 20". В тот же день и час в Александрии тень от вертикального столбика гномона закрывала 1150 часть окружности, центром которой служил кончик гномона. Это значит, что Солнце отстояло в полдень от зенита на 1/50 часть окружности. Приняв расстояние между Александрией и Сиеной равным 5000 стадиев, Эратосфен нашел, что окружность земного шара равна 250 000 стадиев. Вопрос о точной длине стадия, принятого Эратосфеном, долгое время служил предметом дискуссий, поскольку существовали стадии длиной от 148 до 210 м. Большинство исследователей принимали длину стадия 157,5 м («египетский» стадий). Тогда окружность Земли равна, по Эратосфену, 39 375 км, что очень близко к действительному значению 40008 км. Если же Эратосфен пользовался греческим («олимпийским») стадием длиной 185,2 м, то получалась окружность Земли уже 46300 км.

Эратосфен написал большой труд под названием «География» в трех книгах, к сожалению не сохранившийся. Однако о его содержании мы знаем по довольно подробному изложению Страбона. В первой книге Эратосфен приводит географические описания своих предшественников начиная с древнейших времен. Он рассказывает о первых географических картах, построенных Анаксимандром и Гекатеем. Во второй книге изложены доказательства шарообразности Земли и описанный выше метод измерения ее размеров. Эратосфен (как и многие другие) считал Ойкумену островом, окруженным со всех сторон океаном. Он впервые высказал мнение, что можно достичь Индии морским путем, плывя на запад. В третьей книге Эратосфен давал подробные комментарии к составленной им карте Ойкумены.

С резкой критикой «Географии» Эратосфена выступил Гиппарх, посвятивший этому вопросу отдельную книгу, также до нас не дошедшую. О ней мы, как и о труде Эратосфена, знаем из «Географии» Страбона. Гиппарх считал недопустимым использовать для построения карт земной поверхности свидетельства путешественников и моряков о той или иной удаленности географических пунктов друг от друга.

Для построения карт Гиппарх признавал лишь точные определения широт и долгот. В те времена это было не так просто. Широты можно было измерять, как это делал Пифей, по высоте звезд в меридиане или по высоте Солнца в полдень. Делать это можно было в любой ясный день или ночь. Хуже обстояло дело с долготами. Для определения разности долгот двух пунктов в то время существовал только один способ: одновременные наблюдения лунных затмений, которые происходят нечасто, да и пасмурная погода может помешать.

Гиппарх ввел в употребление сетку меридианов и параллелей в качестве математической основы для составления карт земной поверхности. Наряду с Эратосфеном его по праву можно считать одним из основоположников математической картографии.

Определенный вклад в измерение размеров Земли внес Посидоний (ок. 135 – 50 гг. до н. э.), работавший, как и Гиппарх, на Родосе, а позже – в Риме. Он был философом-стоиком, но много занимался и математикой.

Таковы были работы предшественников Птолемея. Впрочем, в своей «Географии» он ссылается еще на одного своего предшественника – географа Марина Тирского (т. е. родом из города Тира), который, как и Птолемей, развивал методы математической картографии. К сожалению, время жизни Марина Тирского нам точно не известно (ориентировочно I в. н. э.) . Именно Марин предложил отсчитывать долготы от одного из Канарских островов, что бы все долготы Ойкумены имели один знак. Этот способ отсчета долгот Птолемей у него и позаимствовал. Для построения карт Птолемей использовал прямоугольную проекцию, предложенную Марином.

 «География» Птолемея – это громадный том (ненамного уступающий «Альмагесту»). В этой книге приводятся долготы и широты примерно 8000 населенных пунктов. Книга иллюстрируется 27 картами: одной общей и 26 по регионам (Птолемей их называет греческим словом «епархия», в латинских переводах фигурируют «провинции»). Общая карта мира приписывается александрийскому географу Агатодемону.

К сожалению, подлинные карты Птолемея до нас не дошли, так что мы можем судить о них только по копиям и реконструкциям.

«География» Птолемея, называемая также «Географическим руководством», состоит из восьми книг. В I книге Птолемей излагает свои представления о земном шаре и дает понятие о географических координатах: широте и долготе.

В основе его взглядов на географическую науку лежит математический подход к составлению карт и определению положений городов и иных пунктов. Птолемей резко критикует страноведческий подход, основанный лишь на использовании качественных описаний путешественников, без математической основы.

Книги II – VII посвящены описанию отдельных регионов. Согласно представлениям Птолемея, Ойкумена расположена в интервале долгот (в принятой им системе) от 0° до 180° и в интервале широт от 20° ю. ш. до 63° 30' с. ш. За начальный меридиан принят меридиан, проходящий на 0,5° западнее Островов Блаженных, т. е. Канарских островов.

Сравнение координат городов, существовавших в эпоху Птолемея и существующих до сих пор, показывает, что сетка долгот у Птолемея как бы растягивается на восток. Поэтому долготы Лондона (Лондиниума) и Парижа (Лютеции) отличаются от современных на 20° и 21°.

Перейдем к изложению содержания II – VII книг «Географии» Птолемея. В шестнадцати главах книги I описаны страны Западной Европы. Среди них Гиберния (Ирландия), Альбион (Великобритания), Испания (сюда входят современные Испания и Португалия), Галлия Аквитания (Франция), Галлия Бельгика (северо-восточная Франция, Бельгия и Нидерланды), Великая Германия (ФРГ и часть Польши до Вислы), Реция, Винделиция и Норик (Бавария и Австрия), Паннония (Венгрия). В книге III рассматриваются в основном страны Восточной Европы. Среди них – Иллирия (адриатическое побережье Хорватии), Далмация (побережье Боснии и Албании), Италия, острова Корсика, Сардиния и Сицилия, Европейская Сарматия (Восточная Европа от Вислы до Дона), Херсонес Таврический (Крым), Дакия (Румыния), Верхняя и Нижняя Мезия (Сербия и Болгария), Фракия (южная Болгария и европейская часть Турции), Македония, Эпир, Ахейя (Греция), Пелопоннес, острова Эвбея и Крит. Азиатскую Сарматию, т. е. Восточную Европу от Дона до Волги, Птолемей относит к Азии и описывает в книге V. Восточной границей Европы он считает р. Танаис (Дон).

Птолемей неправильно представлял себе северные страны и моря Европейского материка. Полуостров Скандинавию он считал небольшим островом Скандия. Балтийское море он считал частью Северного моря, объединяя эти моря в Сарматский океан. Британские острова на его картах сильно искажены, особенно в их северной части.

Интересно, что у Птолемея уже имеются названия некоторых славянских племен. Так, он упоминает венедов и даже называет по их имени часть Балтийского моря Венедским заливом. Он называет сербов, а упоминаемые им ставаны и свовены – это славяне и словены, буланы – поляне. Таким образом, уже в птолемеевскую эпоху славянские народы существовали и населяли часть Восточной Европы.

Из гор Птолемей упоминает Альпы, Судеты, Карпаты и Сарматские горы. Трудно сказать, что подразумевал Птолемей под Сарматскими горами. ни, по Птолемею, расположены севернее Карпат. Возможно, что он предполагал существование каких-то северных отрогов Карпат.

Азовское море Птолемей называет Меотидой, по наименованию племени меотов (адыгов). Он упоминает несколько рек, впадающих в него. Кроме Танаиса (Дона), перечислены Вардан, или Гипанис (нынешняя Кубань), Порит (ныне Миус), Лик (Кальмиус), Марубий (Кагальник), а всего 13 рек, из которых семь рек впадают с востока, а шесть – с запада.

Волгу Птолемей называет Ра. Такое название существовало у древних народов Поволжья; ведь до сих пор на мордовском языке Волга называется Рав.

В IV книге своей «Географии» Птолемей описывает Африку. Он делит ее на следующие 12 «епархий»: Мавритания Тингитанская, Мавритания Цезарейская, Нумидия, собственно Африка, Киренаика, Мармарика, Ливия внешняя, Нижний Египет, Средний Египет, Фиваида, Ливия внутренняя, Эфиопия, Верхний Египет, области южнее Эфиопии. Крайним южным пунктом, который он упоминает, является гора Бардит (16° ю. ш.), хотя южной границей Ойкумены Птолемей считает параллель 20° ю. ш.

Часть Африки, входящая в Ойкумену, изображена Птолемеем на четырех картах. Ее очертания искажены по сравнению с современными, прежде всего за счет растягивания в долготном направлении. Так, Средиземноморское побережье Африки от Тингина (ныне Танжер) до Кассиума (Порт-Саид) охватывает у Птолемея более 57° по долготе вместо 38° в действительности. Южнее экватора Африка у Птолемея расширяется к востоку и западу. Кроме того, налицо ряд других отклонений формы побережья (как Атлантического, так и Средиземноморского) от правильной.

Описывая (и притом довольно подробно) реку Нил и города бассейна Нила, Птолемей смещает его исток к югу на 9°30' в сторону Лунных гор. Страну в Восточной Африке, расположенную на месте нынешних Сомали и Кении, Птолемей называет Барбарией. Самый южный город в Восточной Африке, упоминаемый Птолемеем, – Рапта на 7° ю. ш. (ныне Дар-эс-Салам в Танзании), древний порт и торговый центр Африки.

В «Географии» Птолемея в Африке указаны 40 гор в том числе Лунные горы, Ливийские горы, Большой и Малый Атлас, Солнечная гора и др. Из рек, роме Нила указаны р. Дарадус (ныне Сенегал), Нигейр (Нигер) многие другие.

В той же IV книге Птолемей описывает острова Красного моря (перечислено 29 островов), а также острова Средиземного моря, прилегающие к африканскому материку.

Более половины «Географии» (книги V – VII) посвящено описанию Азии. При этом если страны Передней Азии, Ближнего и Среднего Востока описаны довольно правильно, то по мере перехода к более восточным странам сведения Птолемея становятся все менее и менее точными.

Вот какие «епархии» Птолемей относит к Азии: Понт, Вифиния, собственно Азия, Ликия, Галатия, Пафлагония и Писидия, Памфилия и Исаврия, Каппадокия, Армения малая, Киликия, Азиатская Сарматия, Колхида, Иверия, Албания, Армения великая, о-в Кипр, Сирия дольная, Сирия Финикия, Сирия Палестина и Иудея, Аравия Каменистая, Месопотамия, Аравия Пустынная, Вавилония, Ассирия, Мидия, Сузиана, Персида, Парфия, Кармания Пустынная, Аравия Счастливая, другая Кармания, Гиркания, Маркиана, Бактриана, Согдиана, страна саков, Снифия, Серика, Ария, Паропамис, Дрангиана, Арахосия, Гедросия, Индия, страна синов, о-в Тапробана.

Большинство из этих названий требуют пояснений. Понт и Вифиния – это части черноморского побережья нынешней Турции, прилегающие к Босфору. Галатия расположена южнее. Каппадокия находится восточнее, также на территории современной Турции. Южная часть Турции вдоль побережья Средиземного моря называлась тогда Киликией. Остальные части современной Турции Птолемей называет «собственно Азией». Колхида и Иверия – черноморское побережье и горные районы Грузии соответственно, Албания – это теперь Азербайджан.

Армения в эпоху Птолемея занимала не только ны­нешнюю территорию Армянской ССР, но и значительную часть Восточной Турции. Западная ее часть называлась Малой Арменией. Гиркания прилегала к южному берегу Каспийского моря (часть современного Ирана), Мидия была расположена к юго-западу от нее, дальше на юг про­стиралась Сузиана, а у побережья Персидского залива - Персида. Все эти «епархии» тоже находились на террито­рии современного Ирана. Восточнее Мидии находилась Парфия (Восточный Иран), а восточнее Персиды - Кар­мания. Еще дальше на восток от Кармании, вдоль север­ного берега Аравийского моря, располагалась Гедросия, захватывающая юго-восточную часть Ирана и западную часть Пакистана. Арахосия располагалась к северу от нее, на территории современного Афганистана. Еще севернее находилась Бактриана (северный Афганистан), а затем Согдиана (на территории нынешнего Узбекистана). На северо-восток от нее простиралась страна саков (юг Ка­захстана, по берегам Сырдарьи). Под Скифией подразуме­валась часть территории России от Волги до озера Балхаш, Маркиана - часть Туркмении. Азиатской Сарматией назывался тогда Северный Кавказ. Тапробана - это остров Шри-Ланка.

Птолемей считал Индийский океан замкнутым морем, ограниченным с запада и с юга берегами Африки, с севе­ра - Счастливой Аравией, Персидой, Гедросией и Индией, с востока - страной синов. Юг Малаккского полуострова Птолемей называл Золотым Херсонесом. Серика - это Ки­тай («страна шелка»), а страна синов - Индокитай. Несмотря на многочисленные ошибки в изображении тех или иных географических регионов, труд Птолемея сохра­нил свое значение почти до XVII в. Хотя в работах араб­ских и среднеазиатских ученых (особенно Мухаммеда аль-Хорезми и Абу-Райхана Бируни) многие ошибки Птолемея были исправлены и координаты ряда азиатских городов определепы заново, «География» Птолемея про­должала использоваться, а в ХП в., как и «Альмагест», по­пала в Европу.

**Работы Птолемея в области оптики**

Клавдий Птолемей оставил после себя не только выдающиеся труды по астрономии и географии – ему принадлежит также монография по оптике, прочно во шедшая в историю мировой науки.

Термин «оптика» происходит от греческого опсис (зрение) и в античную эпоху означал собственно науку о зрении. Кроме того, существовала катоптрика – наука об отражении лучей света от зеркальных поверхностей и диоптрика – наука об оптических измерениях.

Примерно в V в. до н. э. сложились два противоположных представления о свете и его восприятии зрением человека. Согласно одному из них, развитому древними атомистами, свет и цвета – это материальные истечения, выходящие из предмета и достигающие глаза. Переносчиками изображения служат мельчайшие частицы («атомы света»). Известный римский поэт Лукреций Кар (I в. до н. э.) в поэме «О природе вещей» так излагает эту точку зрения. На поверхности предметов находится

*Множество крохотных тел, что способны от них отрываться*

*В точном порядке, всегда сохраняя их облик и форму.*

Другое представление (которого придерживался, например, Евклид) основано на том, что лучи исходят из наших лаз и как бы «ощупывают» предмет. Такая точка зрения лучше соответствовала представлениям геометрической (лучевой) оптики. Угловые размеры и расстояния между объектами также легко истолковывались с этих позиций. В качестве обоснования сторонники этого взгляда приводили тот факт, что у кошек и некоторых других животных глаза ночью светятся, как бы испуская «лучи зрения».

Независимым от этих двух представлений было учение о свете Аристотеля. В нем подчеркивалось значение промежуточной прозрачной среды в передаче света и цветовых ощущений. Этой средой может быть воздух, вода и даже некоторые твердые вещества (например, стекло). Цветовые свойства предметов Аристотель связывал с изменением свойств промежуточной среды и ее воздействием на наш глаз.

Наиболее старой, дошедшей до нас работой в этой области является «Оптика» Евклида. Он развил основные положения геометрической оптики и теории перспективы. Евклид выводит законы перспективы из четырнадцати положений, основанных на данных наблюдений.

К сожалению, «Катоптрика» Евклида до нас не дошла. Сочинение с таким названием, некоторое время приписывавшееся Евклиду, оказалось компиляцией IV в. н. э., автором которой является, возможно, Теон Александрийский. Подлинная «Катоптрика» Евклида вскоре была оттеснена на второй план «Катоптрикой» Архимеда (также не дошедшей до нас). Известно, однако, что книга Архимеда содержала строгое изложение достижений геометрической оптики того времени. Архимед был не только теоретиком в области оптики, но и экспериментатором. Однако версия о том, что Архимед якобы сжег вражеский флот, направив на него лучи Солнца с помощью вогнутых зеркал,– всего лишь красивая легенда, хотя и основанная на том, что Архимед, возможно, проводил какие-то опыты с вогнутыми зеркалами.

По сравнению с оптическими трактатами Евклида и Архимеда «Катоптрика» Герона Александрийского (ок. 150 – ок. 250 г. н. э.) содержала ряд новых элементов. В ней Герон обосновывал прямолинейность световых лучей бесконечной скоростью их распространения.

В своем трактате Герон рассматривает различные формы зеркал (в частности, цилиндрические) и вызываемые ими искажения изображений. Любопытно, что «Катоптрика» Герона первоначально приписывалась... Птолемею.

Кроме «Катоптрики» Герон написал трактат «О диоптре», в котором описывается визирное устройство для угловых измерений.

Большинство античных авторов уделяли основное внимание отражению света. Вопрос о преломлении света находился в менее ясном положении, Аристотель писал о «переламывании» луча (называя это явление термином анакласис), но включал в это понятие и отражение, и преломление. Клеомед считал, что при насыщенном влагой воздухе Солнце можно видеть даже тогда, когда оно находится ниже горизонта. Это явление – астрономическая рефракция. Клеомед основывался на представлении о лучах, исходящих из глаза. По его мнению, проходя через влажный воздух, лучи тяжелеют от проникающей в них влаги и потому скривляют свой путь.

Той же концепции лучей, испускаемых глазом, придерживался и Птолемей. В вопросах отражения света и природы зрения он не пошел дальше своих предшественников. С проблемой рефракции дело обстояло иначе.

В «Альмагесте» явление рефракции только упоминается (в книге IX, гл. 2) . Кроме того, в книге I, гл. 3 Птолемей обсуждает вопрос о кажущемся увеличении видимых диаметров Солнца и Луны у горизонта. Там он объясняет это явление «увеличением влажности в атмосфере» на пути горизонтального луча. В «Оптике» этому явлению дается совершенно правильное объяснение – как чисто психологическому эффекту. В сочетании с тем, что в «Оптике» подробно рассматривается явление рефракции, это дает все основания считать, что «Оптика» – более позднее произведение Птолемея, чем «Альмагест».

История дальнейшей судьбы этого произведения Птолемея не менее интересна, чем история судьбы «Альмагеста». По-видимому, в IX в. «Оптика» была переведена с греческого на арабский язык. В XIIв. эмир Евгений Сицилийский (ок. 1125 – ок. 1195) выполнил ее перевод с арабского языка на латынь.

Об «Оптике» Птолемея сообщали в своих произведениях Дамиан (IV в.), Симпликий (VI в.), Олимпиодор (VI в.) и Симеон Сет (XI в.). Приводимые ими отрывки из «Оптики» на греческом языке хорошо согласуются с текстом Евгения Сицилийского.

Латинский перевод «Оптики» (тогда еще рукописный) использовали в своих трудах по оптике Роджер Бэкон (ок. 1214 – 1292) и Вителло (ок. 1225 – он. 1280) . Но если Бэкон прямо ссылается на труд Птолемея и высоко оценивает его, то у Вителло ссылок на Птолемея нет, но в его сочинении «Перспектива» много общего с рассмотрением тех же вопросов у Птолемея.

В XII в. была переведена на латинский язык «Оптика» арабского ученого Ибн аль-Хайсама, известного под латинизированным именем Альхазен.

«Оптика» Птолемея состоит из пяти книг. Первая книга (увы, до нас не дошедшая) была посвящена общим рассуждениям о свете и зрении. Во второй книге рассматриваются условия зрительного восприятия, а также обманы и ошибки зрения. Третья книга содержит общие законы отражения, теорию плоских и выпуклых зеркал, четвертая – теорию вогнутых, конических и пирамидальных зеркал. Пятая книга, наиболее интересная и оригинальная, посвящена диоптрике. Здесь же, в главах 23 – 30, подробно обсуждается проблема рефракции.

Обнаружение и исследование «Оптики» Птолемея позволило современным ученым понять, до какого уровня дошла древнегреческая наука в этой области знания. Ряд открытий в оптике, ранее приписывавшихся арабским ученым (в частности, Альхазену), в действительности принадлежат Птолемею и некоторым его предшественникам.

Конечно, «Оптика» Птолемея не имела такого влияния на развитие науки, как «Альмагест» и «География», но свою роль она сыграла. Птолемей прочно поставил эту науку на математический фундамент, введя в нее результаты измерений и экспериментов.

**Математика и музыка**

Еще один трактат Птолемей посвятил теории музыки, точнее, гармонии. Он называется «Гармоники», что означает гармонические соотношения, представляющие собой фактическое выявление принципа или идеи, называемой гармонией.

Что же заставило Клавдия Птолемея заняться областью знания – музыкальной гармонией столь, казалось бы, далекой от его основных интересов? Для того чтобы яснее понять это, рассмотрим взгляды Пифагора и пифагорейцев.

По представлениям Пифагора и его школы, в мире должна царить гармония, проявляющаяся во всем: в строгости математических соотношений, в совершенстве движений небесных тел, а в музыке – в гармонических соотношениях частот (тонов) звучаний музыкальных инструментов. Именно Пифагор заложил основы математической теории музыки.

Согласно этой теории, благозвучные сочетания или чередования звуков должны соответствовать отношениям частот 2:1 (этот частотный интервал называется октавой), или 3:2 (чистая квинта), или 4:3 (кварта), короче говоря, отношению двух соседних целых чисел натурального ряда. Такой музыкальный строй называется точным в отличие от принятого в настоящее время темперированного строя (иначе говоря, выровненного, сглаженного). В темперированном строе октава делится на 12 полутонов, так что частотному интервалу в один полутон соответствует отношение частот 1,06

Против такой излишней математизации музыкального строя выступил один из учеников Аристотеля – Аристоксен из Тарента (середина IV в. до н. э.). Философ, сторик и музыкант, он внес в пифагорейское учение много нового, так что эта форма пифагорейства стала называться неопифагорейством. В частности, в музыке Аристоксен настаивал на приближении ее к запросам публики. Музыка должна быть приятной для слуха, и тогда она благозвучна. Аристоксен ввел так называемый чистый строй, отличающийся от пифагорова тем, что он основан на использовании трех интервалов: октавы, чистой квинты и большой терции.

Аристоксен был прямым предшественником Птолемея в его взглядах на гармонию и на ее связь с математикой.

«Гармоники» Птолемея состоят из трех книг. Первые две из них посвящены теоретическим соображениям о чисто музыкальных явлениях, о законах консонирующих тональных сочетаний и о звучании музыкальных инструментов. Третья книга излагает учение о гармонии, причем не только в музыке. Птолемей переносит принципы гармонии на небесные тела, полагая, что в расположении небесных тел, в закономерности их расстояний от Земли проявляются те же гармонические соотношения, что и в музыке.

Птолемей жил и творил в атмосфере, насыщенной неопифагорейскими идеями. Вместе с тем он поставил себе целью преодолеть противоположность между взглядами тех, кто доверяет «только ушам» (т. е. слуху), и тех, кто основывается «только на разуме» (т. е. на математических соотношениях). Если в «Альмагесте» Птолемей последовательно придерживался философии Аристотеля, то в «Гармониках» он становится все более эклектичным. Время жизни и деятельности Птолемея совпадает с эпохой наивысшего развития эклектизма. Неудивительно поэтому, что Птолемей, подпав под его влияние, стремился в своих «Гармониках» объединить разнородные взгляды на музыку и гармонию.

Идея о связи между гармонией музыкальной и гармонией мироздания ярко выражена в следующих словах выдающегося византийского философа Григория Нисского (ок. 335 – 394): «...порядок мироздания есть некая музыкальная гармония, в великом многообразии своих проявлений подчиненная некоторому строю и ритму, приведенная в согласие сама с собой, себе самой созвучная и никогда не выходящая из этой созвучности, нимало не нарушаемой многообразными различиями между отдельными частями мироздания».

Эта «музыка сфер» (термин, приписываемый самому Пифагору) проходит в истории науки длинный путь, в 23 столетия – от первых пифагорейцев, Аристоксена, Архита к Птолемею, и далее к его продолжателю Боэцию и к ученым нового времени вплоть до Кеплера, который в своем известном труде «Мировая гармония» (1619) продолжил идеи Птолемея о соответствии расположения планет по их расстояниям от Солнца (уже на основе гелиоцентрической системы мира) музыкальным интервалам.

Кеплер еще с молодых лет интересовался трудом Пто лемея. К этому времени латинский перевод «Гармоник» уже был издан в Венеции (в 1562 г.), но, по-видимому, полнос тью разошелся, так что покровитель Кеплера баварский меценат Иоганн Герварт прислал ему в 1600 г. рукопись на греческом языке. Зимой 1617 г., приступая к работе над «Мировой гармонией», Кеплер писал своему другу Вакгеру фон Ваксенфельсу: Когда, возвратясь домой из поездки в Регенсбург... я оставил «Таблицы», которым и следовало подождать, и все свое внимание обратил на «Гармонию»: я перевел на латинский язык третью книгу «Гармоник» Птолемея и написал к ней примечания, где сравниваю свои открытия в области небесных гармоний со взглядами на этот предмет упомянутого автора».

Перевод книг о гармонии Птолемея и Аристоксена, выполненный Кеплером, вместе с его примечаниями к первой из них вошел в четвертый том рукописей Кеплера, приобретенных Российской академией наук в 1773 г. Они и сейчас хранятся в Петербургском отделении Архива АН России.

Спустя полвека после смерти Кеплера, в 1682 г., английский математик и механик Джон Валлис предпринял в Оксфорде издание «Гармоник» Птолемея на греческом и латинском языках с соблюдением всех научных требований к такой публикации. В приложении приведен список всех известных автору публикаций рукописей труда Птолемея и их местонахождения, а также ранее вышедших изданий. Оксфордское издание «Гармоник» было повторено в 1699 г. Как это ни странно, но за последовавшие два с лишним столетия этот трактат, сыгравший столь значительную роль в истории музыки, больше не переиздавался, пока в 1934 г. И. Дюринг не выпустил в Гетеборге его новое издание на немецком языке.

**Птолемей и астрология**

Во времена Птолемея астрология – искусство пред сказания судьбы по расположению небесных светил – пользовалась всеобщим признанием и считалась наукой. Астрология уходит своими корнями в глубокую древность. В древнем Египте эпохи фараонов, в Вавилоне и Ассирии жрецы поддерживали свое могущество, укрепляя в народе веру в то, что им одним доступна возможность читать на небе судьбы целых народов и их властителей. В рабовладельческой Греции, в древнем Риме влияние астрологии упало, астрологов не раз высмеивали, особенно за неудачные, неоправдавшиеся предсказания. Известный римский ученый, писатель и оратор Цицерон (I в. до н. э.) указал на такой факт. Видным римским полководцам той эпохи Помпею, Крассу и Цезарю было предсказано, что они умрут в своем доме в глубокой старости, окруженные всеобщим почетом. В действительности все трое были убиты, и притом в среднем возрасте.

Несмотря на многочисленные ошибки астрологов, некоторые римские императоры держали их при своих дворах и пользовались их советами, а иные (как, например, Тиберий), не доверяя даже придворным астрологам, пытались осваивать астрологическую «науку» сами.

В то время астрология считалась «наукой». У нее были основные положения, что-то вроде «астрологических правил» и методов. Предсказываемые судьбы делились по значимости на четыре категории:

1) судьба Земли и мира в целом;

2) судьба отдельной страны или группы стран;

3) судьба того или иного человека;

4) судьба некоторого предприятия или начинания.

Основой для предсказания служило расположение движущихся светил (Солнца, Луны и пяти планет) по знакам зодиака. Так как знаков зодиака было 12, а планет – семь (Солнце и Луна тоже считались планетами), то нетрудно подсчитать, что различных расположений планет по знакам зодиака могло быть 6 миллионов. Разработка теорий движения Солнца, Луны и планет нужна была не только в чисто практических целях (календарь, предсказание затмений, определение долгот по положению Луны и т. д.), но еще и для нужд астрологии.

Каждый знак зодиака имел свое значение и смысл, каждая планета – тоже, из их сочетания выводились те или иные прогнозы на судьбы и характеры людей, на результаты войн и походов, торговых сделок, браков, политических союзов, на урожайность и даже на превратности погоды.

Чтобы уметь составлять эти прогнозы (получившие название гороскопов), надо было обладать определенной суммой знаний по астрономии и математике. Поскольку астрологи были нужны (не только властителям, но и просто богатым людям), их надо было готовить, обучать. А для этого нужны были не только учителя, но и учебники. Клавдий Птолемей написал учебник по астрологии сразу после окончания работы над «Альмагестом».

Этот трактат из четырех книг, названный поэтому «Тетрабиблос», что означает «Четырехкнижие», в дошедших до нас копиях не был подписан, что породило некоторые сомнения в принадлежности его Птолемею. Однако известный историк науки И. Л. Гейберг, составитель «канонического» греческого текста «Альмагеста», на основе анализа дошедших до нас его копий доказал, что автором «Четырехкнижия» действительно является Птолемей.

Что же утверждает Птолемей в этом трактате? Вот какие доводы он приводит, чтобы обосновать идею о влиянии небесных светил на земные явления-: «Мы имеем здесь, во-первых, тезис, который вполне очевиден и не требует длинной аргументации: сила, которая исходит от вечных частей эфира, распространяется на всякий предмет, окружающий Землю, и подвержена непрерывным изменениям. Первые элементы под Луной – огонь и воздух – приходят в расстройство от движения окружающего эфира; в своем беспокойстве они увлекают за собой более низкие элементы – воду, землю, а также растения и животных, которые из них происходят. Солнце, вместе с небом окружающее все земные предметы, налагает на них установленный порядок... Луна, которая ближе всего к Земле, влияет на весь земной мир очевидным образом; одушевленные и неодушевленные предметы следуют ее изменениям; реки подымаются и опускаются вместе с Луной; когда она восходит и заходит, моря приводятся в движение противоположными потоками, а растения и животные чувствуют в некоторой части или целиком влияние роста и убывания Луны. Кроме того, движение звезд есть предзнаменование ко многим явлениям в воздухе, как жара, холод или ветер. Относительное положение звезд является причиной различных изменений, так как при своих комбинациях небесные тела смешивают свое действие. Сила Солнца превосходит, согласно строению мира, другие светила, но последние могут увеличить или уменьшить его действие. Луна показывает это наиболее ясно в своих фазах, для других светил мы можем проверять это так же часто и ясно».

Итак, Птолемей пытается подвести под астрологические воззрения своеобразную «научную базу». Он отталкивается от всем известных фактов о влиянии Солнца на погоду, на развитие растительности, на обеспечение своим теплом и светом жизни животных и людей, о влиянии Луны на приливы и отливы в океанах и морях. К этим несомненным проявлениям физических влияний Солнца и Луны на земные процессы «пристегивается» представление о влиянии Луны на течение рек, на растения и животных, о влиянии небесных светил на погоду.

А вот как распределял Птолемей «роли» между отдельными светилами в их влиянии на Землю: «Солнце вследствие своей природы производит действие теплоты, в меньшей степени также сухости; относительно Солнца мы замечаем это гораздо легче своими чувствами, чем относительно других планет, вследствие его величины и вследствие явственности, с какой в течение времени изменяется его действие. Луна имеет влажное действие по тому, что она ближе всего к Земле, из которой подымаются влажные пары; она размягчает вещи, подверженные ее влиянию, и способствует их гниению, а благодаря своему сходству с Солнцем она обладает способностью согревать. Сатурн есть светило, преимущественно приносящее холод; он также сушит, но в незначительной степени, и это вполне естественно, так как он находится всего дальше и от теплоты Солнца и от влажности Земли. Впрочем, его силы, как и всех остальных светил, находятся в зависимости от их положений относительно Солнца и Луны. Юпитер – умеренная, благосклонная планета. Он расположен посередине между холодным Сатурном и жарким, удушливым Марсом. Он дает теплоту и влажность, но так как сила теплоты преобладает, то от него исходят ветры, производящие плодородие. Марс сушит и сжигает; его цвет огня согласуется с его свойствами, он находится вблизи Солнца, круг которого лежит внутри его сферы. Венера по своей умеренности имеет сходство с Юпитером, но причина для этого совершенно иная: так как она находится вблизи Солнца, то несколько согревает, но при этом, подобно Луне, возбуждает гораздо больше влажности, ибо при содействии этого большого светила она притягивает влажность из ближайших к ней мест Земли. Меркурий сушит и в довольно значительной степени всасывает влажность, так как он лежит недалеко от Солнца; но иногда он немного и увлажняет, ибо находится вблизи Земли, ближе всех остальных планет, за исключением Луны» .

Взгляды на влияние различных светил на погоду прослеживаются и в «Альмагесте». Так, в конце восьмой книги, говоря о гелиакических (одновременных с Солнцем) восходах и заходах звезд, он отмечает, что их влияние на погоду не постоянно, а зависит от противостояний с Солнцем и от положения Луны.

В «Четырехкнижии» Птолемей дает детальное изложение вопроса о тех или иных влияниях планет (включая Солнце и Луну) в зависимости от их расположения относительно знаков зодиака и друг друга. Расположение планет по-разному должно было влиять на природу и человека, если они находятся в соединении или в противостоянии друг с другом, в квадратуре или в тригональной конфигурации. От влияния планет и их расположений на погоду Птолемей переходит к их влиянию на судьбы людей, прокламирует связь между жизнью человека и расположением планет в момент его рождения.

Птолемей пытался навести некоторый порядок в хаосе различных астрологических систем и методов, основанный на рациональных принципах, стремясь избежать мистических комбинаций. Птолемей хотел подвести под астрологию некую «физическую базу». Этот подход имел целью пополнить запасы аргументов, направленных против критиков астрологии. Оправдывая случаи ошибок в предсказаниях астрологов, Птолемей защищал ее основные принципы и сводил дело к их неправильному применению.

Хотя «Четырехкнижие» по своему значению не идет ни в какое сравнение с «Альмагестом», эта книга сыграла определенную роль в дальнейшем развитии астрологии.

Ряд позднейших авторов составляли комментарии к «Четырехкнижию». Среди них - Порфирий (234 – 303), ученик Плотина, и другой неоплатоника, живший двумя столетиями позже, Прокл Диадох (412 – 485) .

Неоплатонизм как философское течение возник и оформился в III в. н. э. Это – идеалистическое и к томуже эклектическое направление в философии, стремившееся объединить платонизм с взглядами Аристотеля, ставившее во главу угла абстрактные категории, такие, как Единое, Ум, Душа. Поэтому не случайно, что именно неоплатоники интересовались астрологией, комментировали «Четырехкнижие» Птолемея. Так, Порфирий написал трактат «Введение в астрологию Птолемея». Прокл Диадох, основатель Афинской школы неоплатонизма, пере работал «Четырехкнижие» с намерением дать объяснение птолемеевской астрологии.

В конце v – начале VI в. н. э. философ Павел Александрийский написал книгу «Введение в астрологию», которая вскоре вытеснила «Четырехкнижие» Птолемея и заняла место основного учебника по астрологии.

В IX в. «Четырехкнижие» Птолемея было переведено на арабский язык. В середине XIII в. благодаря стараниям короля Кастилии Альфонса X это сочинение было переведено на латинский язык, а в 1484 г. в Венеции Ратдольт выпустил его первое печатное издание. На греческом языке оно было издано в 1525 г. в Нюрнберге, после чего не раз переиздавалось. В 1551 г. в Базеле было издано своеобразное «собрание избранных сочинений» Птолемея, куда вошли «Альмагест» в переводе Георгия Трапезундского, «Четырехкнижие» в переводе Иоахима Камерария, «Центилоквиум» («Книга плодов») и более мелкие сочинения, а такжсе комментарии к «Альмагесту» Прокла Диадоха (в переводе Джорджио Валла Плацентино) и комментарии редактора издания – профессора Тюбингенского университета Эразма Освальда Шреккенфукса (1511 – 1579), известного своими переводами и комментариями к сочинениям астрономов древности и средневековья.

«Четырехкнижие» – сравнительно небольшое сочинение, оно занимает около 600 страниц.

**Судьба «Альмагеста»**

Чрезвычайно интересная судьба – у главного труда Птолемея - «Альмагеста». От завершения этого труда до последнего известного нам его издания прошло 1834 года!

Первые читатели «Альмагеста», известные науке, это младшие современники Птолемея: римский естествоиспытатель и врач Гален и сирийский астролог Веттий Валент. Последний, хотя и был современником Птолемея, работал независимо от него, используя труды Гиппарха и вавилонских астрономов. От него осталась «Антология» в девяти книгах и более мелкие сочинения.

Поскольку Гален жил и работал в Риме, а Веттий Валент – в Антиохии, очевидно, что «Альмагест» еще при жизни Птолемея попал в эти города.

В самой Александрии первые известные нам комментарии к «Альмагесту» написал, присвоивший себе псевдоним «Малого астронома» (в отличие от Птолемея, считавшегося «Великим астрономом»). Сочинения «Малого астронома» были направлены к облегчению понимания «Альмагеста». О них сообщает и следующий комментатор Птолемея – Папп Александрийский (между 300 и 320 гг.), спустя полстолетия комментарии к «Альмагесту» составил Теон Александрийский (ок. 370 г.) . Комментарии к некоторым книгам «Альмагеста» написала и женщина-математик, дочь Теона Гипатия, трагически погибшая в 415 г.

Ученик Гипатии Синесий Киренский, ставший затем епископом Птолемаиды, руководствуясь указаниями, содержащимися в «Альмагесте», усовершенствовал астролябию. Он же спроецировал небесную сферу на конус. Таким образом, с помощью конической проекции можно изобразить небесную сферу на плоской карте. Этой задаче – проецирования сферы на плоскость – были посвящены два небольших сочинения Птолемея: его «Планисферий» и «Аналемма». Задача эта имеет и другое практическое применение – для построения географических карт.

Уже во II в. по крайней мере одна из его копий «Альмагеста» попала в Антиохию. Есть сведения, что в III в. «Альмагест» был доставлен в Персию, где при дворе сасанидского царя Шапура I (241 - 272) был сделан его перевод на средне­персидский язык (пехлеви). К сожалению, этот перевод не сохранился, да и сведения о нем не очень определен­ные.

«Альмагест» уже в XI в. Доставил в Индию Бируни и сам перевел его на санскрит.

После арабских завоеваний середины VII в. научный центр из Александрии переместился в Византию. Отсюда сочинения Птолемея и его александрийских последовате­лей попали в Трапезунд - город на юж­ном берегу Черного моря (ныне турецкий город Траб­зон), где в это время учился армянский математик, аст­роном и географ Анания Ширакаци (умер в 685 г.) . Вер­нувшись на родину, Анания написал ряд книг, в том числе «Космографию» - своеобразный учебник по астрономии и космогонии, в значительной степени основанный на данных «Альмагеста». В то же время видно, что Анания Ширакаци был знаком и с «Планетными гипоте­зами» Птолемея, потому что в его сочинении фигурируют небесные сферы, связанные с планетами, равно как и две внешние сферы, разделенные воздухом или водой.

Византийский философ, теолог и историк Иоанн Да­маскин (675 - 754) в числе многочисленных сочинений философского и теологического содержания написал кни­гу «Источник знания», где приводилась, между прочим, последовательность сфер планет по Птолемею. Этот отрывок из сочинения Дамаскина спустя полтораста лет после его смерти был переведен на болгарский язык Иоанном Экзархом, ученым, находившимся при дворе болгарского царя Симеона (893 - 927) . Спустя еще 170 лет болгарский протограф попал в Киев, где был пе­реведен на древнерусский язык и включен в «Изборник» великого князя Святослава Ярославича. В «Изборнике», кроме перевода отрывка из Иоанна Дамаскина, можно найти изображения всех 12 знаков зодиака, заимствованные из того же источника. Так мировоз­зрение Птолемея проникло и на Русь - гораздо раньше, чем в Западную Европу.

Одновременно, в XI в., то же самое сочинение Иоанна Дамаскина попало в Грузию, где было переведено на гру­зинский язык Ефремом Мцыре. Этот перевод был хоро­шо встречен в Грузии, так как излагавшиеся в нем философия Аристотеля и система мира Птолемея проникли в Грузию задолго до этого. Все перечисленные направления «мигра­ции» «Альмагеста» и других сочинений Птолемея (или отрывков из них) - это не главные пути. Основной путь, который и привел в конце концов к широкому распрост­ранению «Альмагеста» по странам мусульманского Вос­тока, а затем к проникновению его в Европу, лежал через Багдад.

При дворе второго халифа аль-Мансура (754 - 775) работал автор одного из первых арабских зиджей Ибрахим аль-Фазари (умер в 777 г.), известный также своими конструкциями первых в стра­нах ислама астролябий. Там же работал Йакуб ибн Та­рик (умер ок. 796 г.), написавший «Зидж, извлеченный из Синдхинда».

При аль-Мансуре и его внуке Харун ар-Рашиде (правил в 786 - 809 гг.) был осуществлен сбор и перевод многих сочинений античных ученых. В Багдаде был основан «Дом мудрости» с обширной библиотекой, обсерваторией и школой. Около 800 г. был переведен с сирийского на арабский язык и «Альмагест». К сожалению, этот перевод не сохранился и имя переводчика неизвестно.

В 823 г. халиф аль-Мамун потребовал от побежденного им византийского царя Михаила II передачи ряда греческих рукописей или их копий. В их числе был полу­чен и «Альмагест».

В 828 г. Хаджадж ибн Йусуф ибн Маттар выполнил первый перевод «Альмагеста» непосредственно с грече­ского оригинала. Спустя полвека, в 879 - 890 гг., был осу­ществлен новый перевод, выполненный Исхаком ибн Хунайном ан-Насрани (умер ок. 910 г.), придворным врачом халифа. Этот перевод был отредактирован выдаю­щимся ученым IX в. Сабитом ибн Коррой (836 - 901).

К настоящему времени сохранились три греческих текста «Альмагеста» в копиях IX - X вв. Они хранятся в Париже и в Ватикане. Единственная рукопись араб­ского перевода Хаджаджа (в копии XI в.) находится в Лейдене. Переводы Исхака ибн Хунайна (в копиях) име­ются в Национальной библиотеке Туниса (копия 1085 г.), в Париже (копии 1221 г. и XV в.) и Эскориале (Мадрид) (копия 1276 г.).

В Багдад «Альмагест» попал из Александрии через Антиохию и Харран, где одно время жил и работал Са­бит ибн Корра.

Ахмад ибн Мухаммад ибн Касир аль-Фергани (ок. 800 - 861), уроженец Ферганы, много лет работавший в Багдаде, в своей («Книге об элементах науки о звездах», написанной в 836 г., дает довольно подробное изложение основных положений «Альмагеста».

В середине VIII в. Арабы завоевали Испанию и основали там Кордовский халифат. Во второй половине X в. В трудах одного из испано-арабских ученых, Маслама аль-Маджрити (ок. 940 - 1008), уроженца Мадрида, мы находим «Примечания к книге Птолемея о проециро­вании поверхности сферы на плоскость» (речь идет о его «Планисферии»).

Но на территорию Кордовского халифата попал и «Аль­магест». Это произошло уже в XI в. Целый ряд испано­арабских ученых занялись усовершенствованием труда Птолемея. Работавший в Толедо Ибрахим аз-Заркали, получивший латинизированное имя Арзахель (1029 - 1087), опубликовал в 1080 г. «Толедские таблицы», содержавшие сведения о положениях планет, восходах и заходах светил, затмениях и т. д. Они были вычислены на основе теории Птолемея. Джабир ибн Афлах (XII в.) озаглавил свое сочи­нение «Усовершенствование Альмагеста». Мухаммад ибн Баджа (умер в 1138 г.), Мухаммад ибн Туфейль (1100 - 1185) и его ученик Нур ад-Дин аль-Битруджи (умер в 1185 г.) критиковали планетные теории Птолемея с пози­ций физики Аристотеля.

Испано-арабские ученые открыли «Альмагесту» и другим произведениям классиков антич­ной науки «окно в Европу», поскольку именно там, в Ис­пании, а точнее, в Толедо, в конце XII в. собралась боль­шая группа западных ученых, поставивших целью пере­вести сочинения классиков античной науки на латинский язык - основной язык европейских ученых, остававшийся таковым до начала XIX в.

До этого положение европейских ученых было сложным. Многие сочинения классиков античной науки в их греческих оригиналах или хотя бы в копиях погибли. Фран­цузский математик Герберт Орийякский, живший во вто­рой половине X в. и ставший в конце жизни римским па­пой под именем Сильвестра II (930 - 1003), был вынужден пользоваться арабским переводом «Альмагеста». В XII в. начались работы по переводу основных трудов классиков науки на латинский язык. Апгличанин Аделяр Батский в 1124 - 1141 гг. перевел «Начала» Евклида и аст­рономические таблицы Аль-Хорезми (включая таблицы синусов), Герман из Каринтии в 1143 г. - «Планисферий» Птолемея, Роберт из Честера в 1145 г. - «Алгебру» аль-Хорезми, Иоанн Севильский в это же время - «Физику» Абу Али ибн Сины.

Но особенно крупный вклад в это дело внес врач и аст­ролог Герардо Кремонский (1114 - 1187), который в 1175 г. и перевел «Альмагест» на латинский язык. Кроме того, он перевел на латынь сочинения Евклида, Аристотеля, Архимеда, Гиппократа, Галена, аль-Фараби и Абу Али ибн Сины (Авиценны).

Другая группа переводчиков сфор­мировалась на Сицилии. Здесь Евгений Сицилийский пере­вел «Оптику» Птолемея, а другой, неизвестный пере­водчик при содействии Евгения сделал перевод «Альмагес­та». Дальше в течение трех веков, т.е. до начала книгопечатания, «Альмагест» и другие сочинения Птоле­мея получили хождение в странах Европы в рукописях на латинском языке. В середине XIII в. по указанию короля Альфонса X Кастильского большая группа астрономов подготовила так называемые «Альфонсовы таблицы», которые должны были заменить «Толедские таблицы» 1080 г. В них, кроме положений планет, восходов и заходов светил и моментов затмений, вошел и звездный каталог Птолемея, приведенный к эпохе 1252 г.

Так обстояло дело в Западной Европе. А в Восточной Квропе, в Византии, продолжали распространяться руко­писи сочинений античных ученых на греческом языке. Несколько византийских списков сочинений Птолемея, Евклида, Диоскорида и других античных ученых относят­ся к IX в.

В XI в. в Византии трудились два замечательных чело­века: писатель и философ Михаил Пселл (1018 - 1097) и ученый-энциклопедист Симе он Сет, расцвет творчества которого пришелся на 1071 - 1078 гг.

Михаил Пселл многое позаимствовал из учений Платона и Аристотеля, а конкретные астрономические данные заимствовал у Птолемея.

Оба автора неоднократно ссылаются на Птолемея. Симеон Сет объясняет лунные и солнечные затмения соглас­но «мудрейшему Птолемею». У Птолемея заимствованы порядок сфер планет, относительные размеры Солнца, Земли и Луны, определения небесного экватора, небесного меридиана и оризонта, наклона оси мира к горизонту, объяснение смены времен года наклоном плоскостей эк­липтики и экватора на угол около 24°.

В дальнейшем эти научные традиции были продолжены. В середине XII в. Иоанн Каматир, следуя примеру Лукреция и Георгия Писиды, пишет астрономическую поэ­му, и в ней многократно упоминается имя Птолемея, кото­рого автор называет «премудрым и прекрасным». Феодор Метохит написал «Комментарий к Альмагесту».

После нашествия в начале XIII в. монголов, сокрушивших Хорезм и покоривших русские кня­жества, астрономия продолжала развиваться лишь в Мараге, на территории Иранского Азербайджана, где астроном Насир ад-Дин ат-Туси (1201 - 1274), поль­зовавшийся покровительством внука Чингиз-хана Хула­гу, построил обсерваторию. Он написал книгу «Изло­жение Альмагеста», в предисловии к которой пояснял, что книгу Птолемея, принимаемую астрономами как готовую формулу, он изложил для учеников так, чтобы содержа­щиеся в ней теоретические мысли, а также .порядок глав, распределение вычислений и чертежи не были бы сокраще­ны или искажены. Свои замечания и дополнения к книге Птолемея ат-Туси вписал другими чернилами, чтобы монжно было сразу отличить его собственные мысли от идей и выводов Птолемея. В «Альмагест» ат-Туси включил ряд дополнений, из которых важнейшим является сомне­ние в справедливости планетной теории Птолемея. Ат-Туси перевел на арабский язык «Центилоквиум» («Книгу плодов») Птолемея. Ученик ат-Туси Кутб ад-Дин аш-Ши­рази (1236 - 1311) в 1292 - 1306 гг. написал книгу под наз­ванием «Жемчужина короны для украшения Дубаджа», где он рассматривает «Альмагест» в обработке ат-Туси, но со своими дополнениями. В этой же книге рассматривает­ся теория музыки Птолемея.

При Марагинской обсерватории была создана большая библиотека. Среднеазиатская астрономия испытала новый подъем в первой половине XV в., когда в Самарканде была по­строена обсерватория Улугбека (1394 - 1449), внука извест­ного завоевателя Тимура. Первоначальной целью Улугбека была проверка каталогов Птолемея и ас-Суфи.

Улугбек нашел ряд ошибок в каталогах Птолемея и ас-Суфи и решил получить независимые координаты звезд, что и было выполнено. Каталог Улугбека - это первый незави­симо составленный звездный каталог после Птолемея. После трагической гибели Улугбека в 1449 г. звездный каталог Улугбека и его таблицы были спасены его учеником и сотрудником Али Кушчи, уехавшим в Герат.

Астрономические традиции Самаркандской школы и труды ее предшественников - астрономов Средней Азии и Арабского Востока, впитавшие в себя опыт античной науки, в том числе и исследований Птолемея, продолжали распространяться дальше - в Иран, Индию, а также в Тур­цию. Представитель школы Улугбека аль-Бирджанди (умер в 1525 г.) написал очередной «Комментарий к изло­жению Альмагеста» (по его обработке Насир ад-Дином ат-Туси) [84]. Но в это время Николай Коперник уже ра­ботал над своей рукописью «О вращениях небесных сфер», которой было суждено произвести полный переворот в представлениях о положении Земли и планет во Вселен­ной и об их движениях.

**От эпициклов Птолемея к законам Кеплера**

В 1453 г. под ударами турок-османов пал Константинополь. Прекратила свое существование Византийская империя. Многие греческие ученые и деятели культуры бежали в Италию и в другие страны Европы, перевозя с собой те сочинения античных авторов, которые им удалось спасти.

По времени конец Византии почти совпал с разрушением Самаркандской обсерватории и с гибелью Улугбека. Эти события наряду с наступлением эпохи Возрождения определили роль Западной Европы в дальнейшем развитии науки вообще и астрономии в частности.

На протяжении трех предшествовавших веков в астрономии шла борьба между сторонниками представлений Аристотеля о небесных сферах и системы мира Птолемея с ее сложной комбинацией кругов: деферентов, эпициклов, эксцентров и эквантов. Представления Аристотеля достигли Европы в обработке ученика Ибн Туфейля Мухаммада ибн Рушда, более известного в Европе под именем Аверроэс .

Система Аристотеля – Аверроэса привлекала своей стройностью и простотой, хотя она не позволяла вычислять точные положения планет, как система Птолемея. Последнее обстоятельство склоняло чашу весов все более на сторону системы Птолемея. К середине XV в. ее торжество стало полным, тем более, что появились греческие тексты «Альмагеста».

Папа римский Николай V (1447 – 1455), оказавший гостеприимство греческим ученым, бежавшим от турок, стремился собрать в Ватиканской библиотеке как можно больше рукописей античных ученых, чтобы организовать их перевод на латынь. Перевод «Альмагеста» он поручил своему секретарю Георгию Трапезундскому (1396 – 1484), греку по национальности. К декабрю 1451 г. перевод был завершен, причем Георгий добавил к нему комментарии к «не совсем правильным местам». Этот перевод архиепископ Никколо Перотто назвал «не латинским, а варварским, со многими ошибками».

Между тем «Альмагестом» заинтересовался кардинал Иоанн Виссарион (1403 – 1472), человек весьма образованный. Он хорошо знал древнегреческий, сам занимался литературной деятельностью и способствовал в этом другим. Три рукописи «Альмагеста» из Ватиканской библиотеки содержат его пометки на полях, а одна из них переписана большей частью его рукой.

Убедившись в низком качестве перевода Георгия Трапезундского, Виссарион решил было сам сделать перевод «Альмагеста», но его многочисленные обязанности, связанные с кардинальской должностью, мешали этому. В 1460 г. Виссарион как папский легат прибыл в Вену, где познакомился с профессором математики Венского университета Георгом Пурбахом.

Астроном Георг Пурбах (1423 – 1461) еще до приезда Виссариона начал работать над «Сокращенным изложением астрономии», основанным на «Альмагесте» Птолемея. При этом н столкнулся с многочисленными неточностями и ошибками латинского перевода Герардо Кремонского, сделанного с арабского текста, который тоже возможно был не прямым переводом с греческого, а переводом с сирийского языка. Пурбах решил поехать в Италию и там найти и перевести на латинский язык греческий текст «Альмагеста». К этой работе он привлек своего ученика Иоганна Мюллера (1436 – 1476) родом из Кенигсберга (во Франконии), более известного под латинским именем Региомонтан. Оба ученых уже собрались выехать в Италию, как вдруг Пурбах неожиданно скончался. Региомонтан поехал один, изучил греческий и сделал если не полный перевод, то, во всяком случае, достаточно по дробное изложение «Альмагеста». Его учителями в греческом языке оказались... Георгий Трапезундский и Теодор из Газы. Региомонтан оказался способным учеником, не побоявшимся вскоре выступить против своего учителя. Он не только завершил работу Пурбаха, но и перевел комментарий Теона. Перевод Георгия Трапезундского он на звал «тяжелым и неприятным, так что, если бы Птолемей вдруг ожил, он не узнал бы самого себя». И Региомонтан написал специальное сочинение «Защита Теона против Трапезундского», заслужив глубокую ненависть и самого Георгия и его сыновей. В Италии он пробыл семь лет, после чего еще около трех лет проработал в Венгрии.

В 1476 г. Региомонтан приехал в Рим, где внезапно скончался. Первые шесть книг «Альмагеста» в переводе Пурбаха с примечаниями и дополнениями Региомонтана были изданы в Венеции лишь через 20 лет после смерти последнего – в 1496 г. Это было первое издание «Альмагеста», с которым познакомился прибывший в те годы в Италию для изучения наук молодой Коперник.

Только в 1515 г. в Венеции был напечатан полный латинский вариант «Альмагеста» в переводе Герардо Кремонского, а в начале 1484 г. старший сын Георгия Трапезундского Андреас представил «Альмагест» в переводе своего отца со своим предисловием и с посвящением папе Сиксту IV. Но Сикст IV умер в августе 1484 г. Из-за постоянных франко-итальянских войн издание задержалось на целых 45 лет. Лишь в конце 1528 г. его осуществил в Венеции Лука Гаурик, профессор математики из Неаполя (производивший и некоторые астрономические наблюдения). Это издание было затем повторено дважлы: в 1541 г. в Базеле Иеронимом Гемузеусом и в 1551 г. там же Освальдом Шреккенфуксом, который напечатал не только «Альмагест», но также «Четырехкнижие», «Центилоквиум», «Географию» Птолемея и «Гипотипозис» Прокла Диадоха. В 1538 г. в Базеле Симон Гринеус осуществил первое издание греческого текста «Альмагеста». В 1549 г. в Виттенберге – известном центре протестантской науки – была издана на греческом и латинском языках первая книга «Альмагеста» с предисловием известного деятеля Реформации Филиппа Меланхтона (1497 – 1560). Интересно, что это издание было выпущено спустя всего шесть лет после выхода первого издания труда Коперника «О вращениях...», причем издателем был астроном и математик, профессор Виттенбергского университета Эразм Рейнгольд (1511 – 1553), автор первых астрономических таблиц, вычисленных по теории Коперника (эти так называемые «Прусские таблицы» вышли в свет в 1551 г.) .

Достоверно известно, что Коперник начинал свое знакомство с «Альмагестом» по переводу и изложению Пурбаха и Региомонтана, а в дальнейшем получил венецианское издание 1515 г. (на латинском языке) и базельское издание 1538 г. (на греческом языке), которое привез ему его ученик и последователь Георг Иоахим Ретик (1514 – 1576). С этими датами связаны и определенные этапы в работе Коперника над его основным трудом «О вращениях небесных сфер»: в 1515 г. был написан «Малый комментарий» и начата работа над первой книгой «О вращениях...».

План основного труда Коперника «О вращениях...» близок к плану «Альмагеста». Может вызвать удивление, что Коперник, ставя себе целью показать ошибочность системы мира Птолемея, в то же время заимствует у своего великого предшественника не только план его сочинения, но и целые фрагменты. Мнение Коперника о Птолемее выражено во вступлении к первой книге «О вращениях...»: «Действительно, хотя Клавдий Птолемей Александрийский, стоящий впереди других по своему удивительному хитроумию и тщательности, после более чем сорока летних наблюдений завершил созидание всей этой науки почти до такой степени, что, как кажется, ничего не осталось, чего он не достиг бы, мы все-таки видим, что многое не согласуется с тем, что должно было бы вытекать из его положений; кроме того, открыты некоторые иные движения, ему неизвестные».

Коперник давал достаточно высокую оценку заслуг Птолемея, который, по его мнению, стоит «впереди других по своему удивительному хитроумию и тщательности». Более того, он «завершил созидание всей этой науки почти до такой степени, что, как кажется, ни чего не осталось, чего он не достиг бы...». И все-таки Коперник заявляет, что не согласен с Птолемеем и притом во многом.

Уже в первой книге своего труда Коперник старается обосновать возможность движений Земли, центральное положение Солнца в планетной системе. Он сперва приводит аргументы Птолемея в пользу центрального и неподвижного положения Земли, а затем опровергает их. Этим опровержениям посвящена восьмая глава первой книги труда Коперника.

Почему, спрашивает Коперник, древние астрономы считают, удто Земля не может вращаться? Потому что в этом случае она имела бы слишком большую скорость вращения? Но ведь они допускают вращение неба, кото рое во много раз больше Земли и должно иметь во столь ко же раз большую скорость. Движение Земли, по Копер нику, является естественным. «Поэтому напрасно боится Птолемей, что Земля и все земное рассеется в результате вращения, происходящего по действию природы»,– говорит Коперник. И далее: «...вращается не только Земля с соединенной с ней водной стихией, но также и немалая часть воздуха и все, что каким-либо образом сродно с Землей, или уже ближайший к Земле воздух, пропитанный земной и водной материей ...имеет приобретенное движение, которое сообщается ему прилегающей Землей в постоянном вращении и без всякого сопротивления».

Коперник понимал, что тяготение (или, точнее, тяжесть) есть «некоторое природное стремление»; он распространял это «стремление» и за пределы Земли, приписывая такое же явление Солнцу, Луне и планетам, но он не дошел еще до завершающей идеи о том, что все тела притягивают друг друга, а не только частицы своего вещества. Земная тяжесть, солнечная тяжесть, лунная тяжесть, планетные тяжести не объединились у него во всемирное тяготение. Это сумел сделать только Ньютон. Но Коперник, а затем Галилей и Кеплер проложили своими трудами ему дорогу. А дорогу Копернику проложил Птолемей.

Изложив основные принципы своей системы мира, Коперник переходит к математической части своей теории. В книгах I, II рассматриваются общие положения (известные и до Коперника), в книгах III – V излагается сущность его теории движения Солнца, Луны и планет, в книге VI – движения планет по широте. Коперник следует порядку изложения, принятому Птолемеем.

Коперник считал, что планеты могут двигаться только по окружности и только равномерно. Поэтому он не принял введенный Птолемеем эквант, а с ним и гипотезу биссекции полного эксцентриситета. Причиной отказа Коперника от экванта было не простое неудовольствие неудачной, по его мнению, моделью. Он был связан с приверженностью великого ученого к принципу равномерных дви жений, провозглашенному еще Аристотелем. За отход от этого принципа критиковали Птолемея многие арабские ученые, в частности аль-Битруджи (Аль петрагий) и ибн Рушд Аверроэс.

Эпициклы, деференты и экванты теории Птолемея в соединении с гелиоцентрической системой Коперника проложили путь к законам Кеплера. Проложили – чтобы навсегда уйти в историю. Законы Кеплера ознаменовали начало подлинно новой астрономии. Впереди было открытие Кеплером своего третьего закона, связывающего расстояния и периоды обращений планет, а за тем – гениальный труд Исаака Ньютона, который на основании этих законов вывел закон всемирного тяготения.

В свете истории развития астрономической пауки мы можем теперь глубже понять роль и место в ней Клавдия Птолемея. С одной стороны, он собрал и обобщил всю сумму знаний своих предшественников, создал поистине великое построение астрономической картины мира, отвечающее представлениям своей эпохи. С другой стороны, он как бы предоставил это построение в руки исследователей позднейших эпох, которые смогли так его переделать, о получилось величественпое щание, имя которому – научное представление о Вселенной.

**Птолемей и Коперник**

Птолемей создал естественнонаучную теорию, которая более тысячелетия претендовала на абсолютную истинность. Коперник открыл человечеству глаза на то, что научная истина еще отнюдь не составляет истины абсолютной. На базе давно известного, давно устоявшегося эмпирического материала Коперник предложил великую теорию, в корне отличную от великой теории Птолемея. Отсюда берет истоки традиция недооценивать значение творчества Птолемея, противопоставлять «ненаучности» Птолемея подлинно научные взгляды Коперника.

Птолемей и Коперник – две личности, не уступающие друг другу по значению в реальном историческом процессе развития естествознания. Их имена не должны противопоставляться, они должны стоять рядом как символы двух величайших достижений естественнонаучной мысли. Не только Птолемей, но да же и Коперник отнюдь не были единоличными творцами общенаучных революций. Оба они стали авторами научных представлений, переживших многие столетия, оба активно способствовали выработке нового стиля мышления.

Особенно непросто обстоит дело с анализом творчества Птолемея.

«Альмагест» Клавдия Птолемея – научное произведение, значение которого нельзя по достоинству оценить в одной лишь истории астрономии. Роль Птолемея в процессе становления естествознания уникальна. Место Птолемея в истории мировой науки навечно останется столь же незыблемым, как место Менде леева, Ньютона, Коперника или Евклида.

**Идеал естествознания**

Птолемей в «Альмагесте» впервые изложил в связной форме астрономиче скую картину мира. Однако значение «Альмагеста» несравненно глубже. Если Плиний Старший остановился на уровне сис тематизированных описаний, т.е. на относительно низком, предварительном этапе естественнонаучной деятельности, и если Евклид ограничивался собственно математикой, т. е. аппаратом, формализованным языком научного анализа, поскольку математика сама по себе не принадлежит к естествознанию, то Птолемей впервые в истории человечества дал образец развернутой, математизированной, полнокровной естественнонаучной теории. Она охватила широкий круг проблем и обобщила громадный эмпирический наблюдательный материал. Она имела очевидную прогностическую ценность и широко использовалась на практике. В сущности, теория Птолемея для своего времени отвечала самым строгим критериям научности, выработанным наукой ХХ в. Она заняла место своего рода эталона для всего естествознания. А Птолемей в качестве автора этой теории по справедливости может быть причислен к классикам естествознания. Именно после труда Птолемея астрономия приобрела то «поистине уникальпое положение, которое она занимает среди других наук».

Таким образом, Клавдий Птолемей и в его лице античная астрономия преподнесли всему естествознанию предметный урок. Птолемей первым в исполинском масштабе продемонстрировал великое искусство полноценно описывать природные явления на языке математики – на кинематико-геометрической модели.

К сожалению, вследствие существования теории Птолемея стала окончательно узаконенной появившаяся задолго до него убежденность в реальности разделения Космоса на два мира: надлунный и подлунный. В надлунном мире царил Логос, божественный порядок, птолемеева гармония. Его изучение составляло предмет великой и рано обособившейся научной дисциплины – астрономии. Подлунный же мир отличался аморфностью, беспорядком и изменчивостью. Он достался в удел прозябающей физике, точнее говоря, еще слабо расчлененной «натуральной философии».

Величие теории Птолемея как недостижимого эталона естественнонаучного знания подмяло под себя остальные области естествознания. Эта теория подавляла, сдерживала развитие тех научных дисциплин, которые на первых порах никак не могли тягаться с ней в изощренности математического аппарата. Недосягаемой вершиной высилась она среди остальных наук, адепты которых еще не успели освоить ни эксперимента со строгим количественным исчислением его результатов, ни математических методов представления сводных данных.

**Крушение**

Теория Птолемея отнюдь не напоминала карточный домик. Скорее ее можно уподобить величественному замку.

Среди ранних критиков теории Птолемея обычно выделяют нескольких корифеев арабоязычного мира: Ибн аль-Хайсама (известного в Европе под именем «отца оптики» Альхазена), Ибн Рушда (философа, более известного под именем Аверроэса), аль-Битруджи (переводившегося под латинизированным именем Альпетрагия), Насир ад-Дина ат-Туси, аш-Шатира и ряд других. Занятые определением фундаментальных астрономических постоянных, составлением звездных каталогов и эфемерид планет, эти в большинстве своем астрономы-наблюдатели, как никто другой, не раз наталкивались на вопиющие разночтения между теорией Птолемея и данными наблюдений. Они брались за доработку теории, не меняя ее основ.

Математические построения Птолемея в «Альмагесте» носили исключительно кинематико-геометрический характер и не касались неясных вопросов реального воплощения небесных сфер, эпициклов, деферентов и т. п. В действительности Птолемей писал на эту тему в небольшой работе «Планетные гипотезы», однако основная «физическая» суть концепции небесных сфер была разработана задолго до Птолемея Аристотелем. В этой связи количественная кинематико-геометрическая картина Птолемея с течением времени была пополнена гораздо более ранней качественной картиной мира Аристотеля. Вот этот птолемеево-аристотелевский конгломерат уже не отвечал критериям научности не только современным, но даже весьма древним, поскольку содержал в себе явные противоречия: аристотелевские сферы никак не должны были пересекаться в пространстве, а потому не могли приходить в движение так, как того требовала все более усложнявшаяся с течением времени кинематика Птолемея.

**Развенчанный Птолемей**

Гелиоцентризм трудно внедрялся в научную жизнь, однако в конечном счете одержал всеобъемлющую победу. С теорией Птолемея происходило обратное: она господствовала более тысячелетия и потерпела сокрушительное фиаско. Подобный прецедент имел место впервые. Значительно позже – при смене взглядов Ньютона теорией относительности – никому не могло даже прийти в голову упрекать Ньютона в заблуждениях. Было очевидно, что на смену одним научным представлениям приходят другие, более глубокие. Но, не имея подобного опыта, некоторые критики сплошь да рядом упрекали Птолемея именно в научной некомпетентности, писали, что он грубо заблуждался и повел науку по ложному пути.

Птолемей, создатель первой крупной математизированной естественнонаучной теории, впервые столкнулся с колоссальной противоречивостью реальных наблюдений.

Птолемей использовал наблюдения, в которых регистрировались не только угловые положения, но и время, а это могло выполняться – особенно при определении характерных точек в движениях Солнца, Луны и планет – очень грубо. Скорость же собственного движения Луны по небесной сфере среди звезд составляет около 0,5° в час. Среди использованных Птолемеем шумерских и вавилонских наблюдений многовековой давности наверняка попадались такие, которые имели ошибки регистрации времени в несколько часов – вот явный источник ошибок в положениях, достигающих нескольких градусов дуги!

Птолемей создал геоцентрическую систему мира, но он не брал на себя задачу создать теорию ошибок измерений. Он не знал способа наименьших квадратов и вообще всего того математического аппарата, который мы на зываем сегодня теорией уравнительных вычислений. Он стоял перед лицом грубо противоречащих друг другу на блюдений, и он каким-то образом привел их в порядок, к единой системе, поскольку в «Альмагесте» не осталось никаких следов противоречий: все данные тщательно согласованы друг с другом.

Новейшие достижения физики, как зто ни парадоксально, вновь всколыхнули вопрос о приоритетах между системами Птолемея и Коперника. Теория относительности ставит их сегодня как бы на одну доску. И выделенность гелиоцентрической системы Коперника нуждается в наши дни в специальном философско-методологическом обосновании. «Несмотря на принципиальное равноправие способов существования в любых системах отсчета (в одних системах отсчета существуют одни характеристики реальности, в других – другие), для ряда конкретных задач проще выбирать определенный вид системы отсчета и тем самым определенную картину существования.

Кстати сказать, все астрономические ежегодники мира, как и во времена Птолемея, приводят эфемериды небес ных тел не в гелиоцентрической, а в геоцентрической системе координат.

Заблуждение думать, что, не будь Нтолемея, сразу мог бы на ровном месте расцвести гений Коперника. Кстати, уже после Коперника астрономия совершила ряд следующих шагов, передвинув центр мироздания из центра Солнца в центр Галактики, а впоследствии признав множественность «островных вселенных» и всякое отсутствие какого бы то ни было центра.

Честь и хвала первопроходцам – великому Птолемею и великому Копернику!