

История и методология механики

Лекция № 5

Евгений Алексеевич Зайцев

e_zaitsev@mail.ru

План лекции

1. Николай Коперник. Создание гелиоцентрической системы мира.

2. Коперниканский переворот и его значение.

Идеологическая борьба вокруг учения Н. Коперника.

Значение астрономии для развития классической механики Новая механика «родилась на небе»

1. Механика И. Ньютона – «Математические начала натуральной философии» (1687).

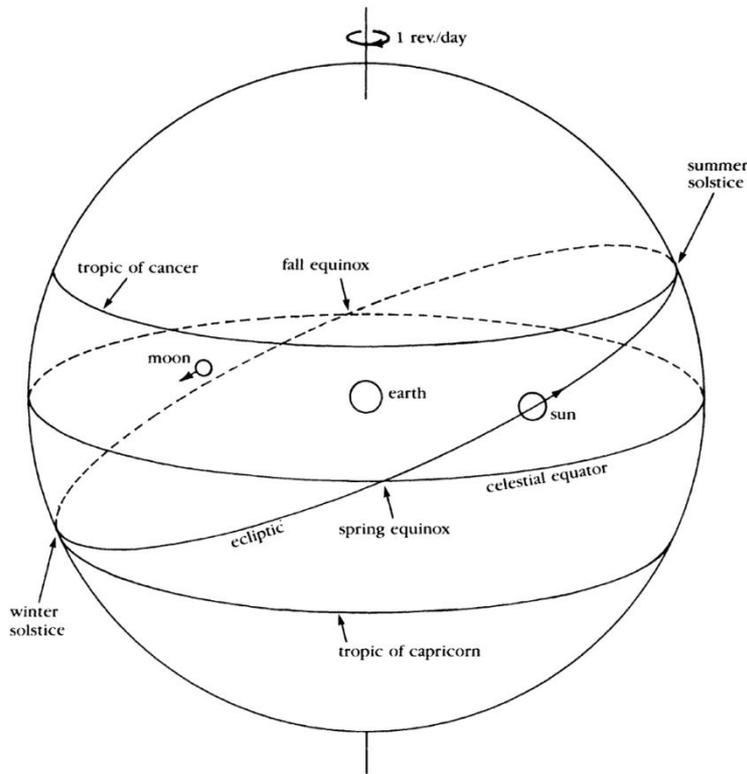
Три общих закона, при помощи которых можно описывать различные виды движения. Но основное поле приложения – небесная механика. Ньютон разработал свою теорию, прежде всего, для описания небесных движений. И основные результаты, полученные им, относятся именно к движению небесных тел – вывод трех законов Кеплера из закона всемирного тяготения (и обратно).

2. Ж.-Л. Лагранж «Аналитическая механика» (1788).

Основной метод – виртуальный скоростей (перемещений) – разработан и апробирован Лагранжем при решении задачи о либрации Луны. Следующий важный этап в развитии аналитической механики – П.С. Лаплас «Небесная механика» 5 тт. (1798–1825).

Аналитическая механика «спустится с небес на землю» во второй половине XIX века ...

Модель «двух сфер» Евдокс Книдский (ок. 390 - ок. 337 до н. э.).



Земля и небо представлены в виде двух концентрических сфер. К небесной сфере прикреплены звезды, а по ее поверхности движутся Солнце, Луна и пять планет.

Суточное вращение небесной сферы объясняет наблюдаемые ежедневно восходы и заходы небесных тел.

Сфера Земли неподвижна и находится в центре.

Небесная сфера вращается вокруг вертикальной оси, делая один оборот в сутки.

Начало. Простейшая модель «двух сфер» Евдокс Книдский (ок. 390 - ок. 337 до н. э.).

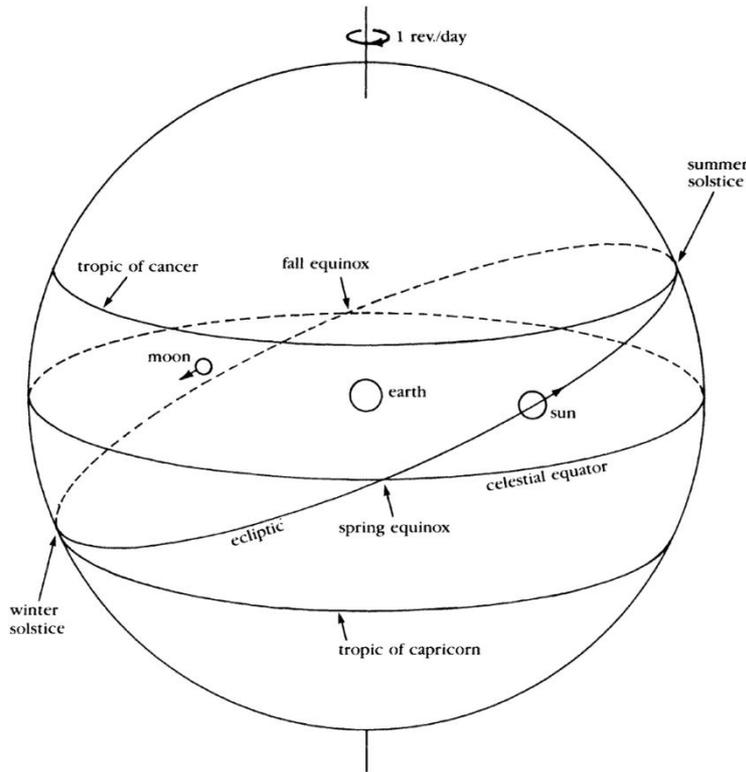
Земной экватор, спроецированный на небесную сферу, определяет небесный экватор.

Годовой путь Солнца по небесной сфере – окружность, наклоненная под углом 23° к экватору (эклиптика).

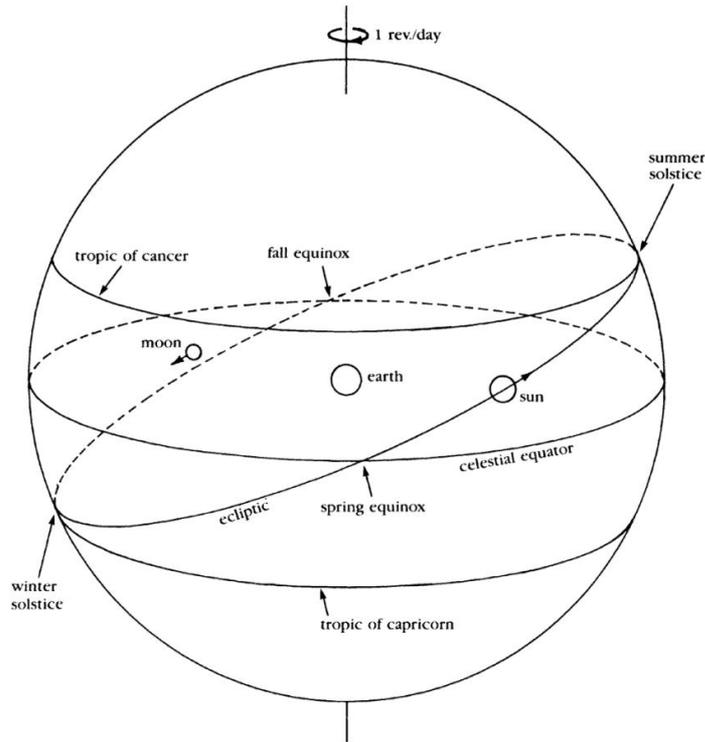
Эклиптика пересекает небесный экватор в точках весеннего и осеннего равноденствия.

Точки, в которых эклиптика наиболее удалена от экватора, соответствуют летнему и зимнему солнцестоянию.

Окружности, проведенные параллельно экватору в точках летнего и зимнего солнцестояния называются тропиками Рака и Козерога.



Модель «двух сфер» (продолжение)

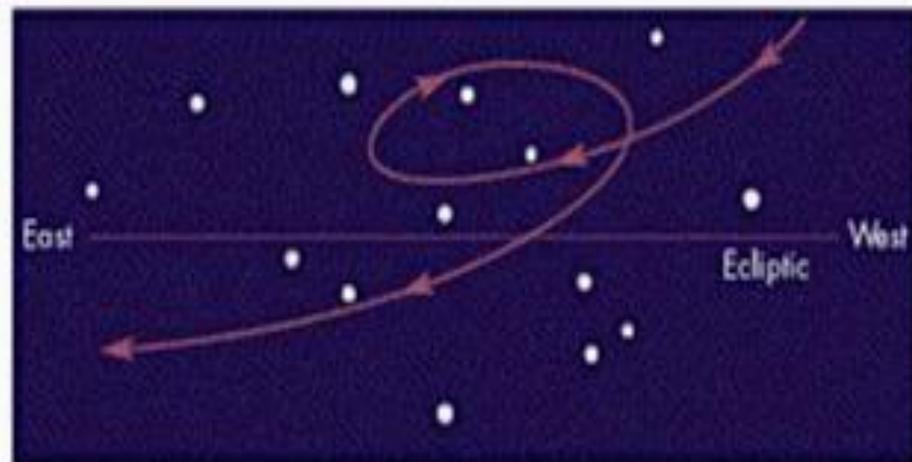
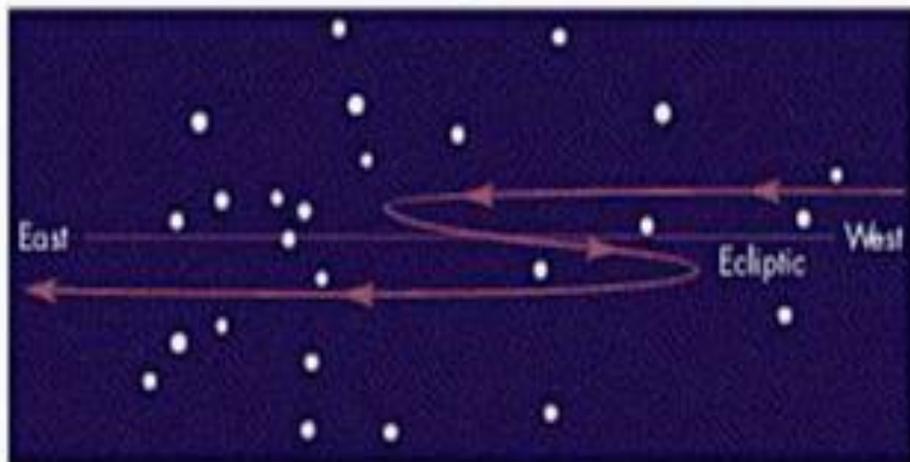
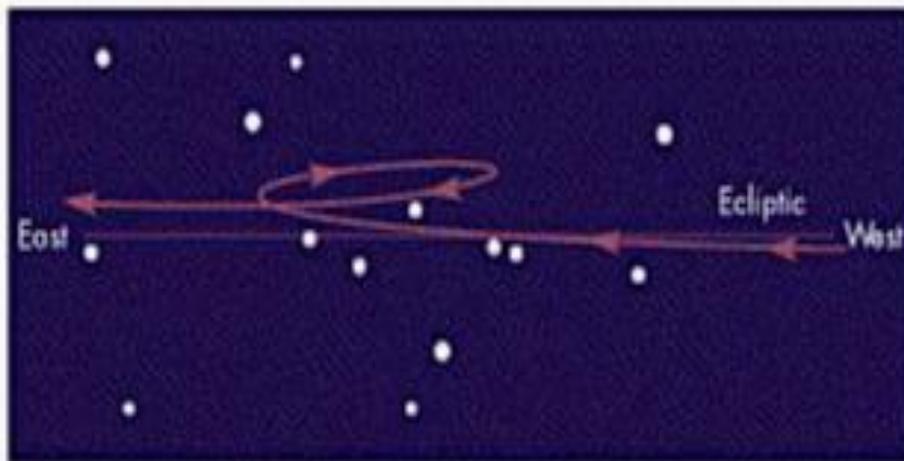


Период обращения Солнца по эклиптике составляет один год. Луна совершает свой оборот за месяц. Ее движение вдоль эклиптики почти равномерно. Планеты – Меркурий, Венера, Марс, Юпитер и Сатурн – также следуют за эклиптикой, отклоняясь от нее на несколько градусов. При этом они двигаются в том же направлении, что и Солнце и Луна, но со значительными колебаниями скорости.

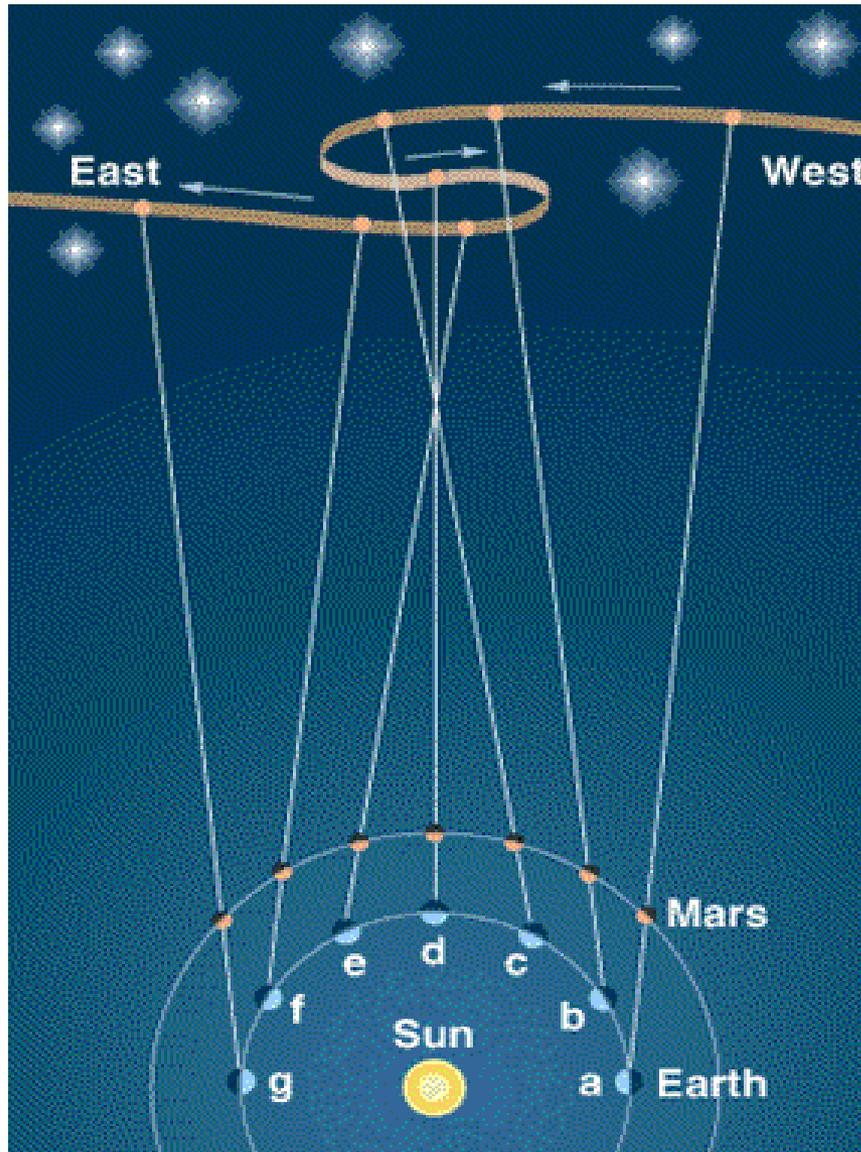
Ретроградное движение планет (Марс)

Марс делает один оборот по эклиптике примерно за 22 месяца. Один раз в 26 месяцев он замедляется до полной остановки, разворачивается (движется теперь в направлении с востока на запад), снова останавливается, а затем возобновляет обычное движение с запада на восток. Это изменение направления называется «ретроградным движением», оно свойственно всем планетам, кроме Солнца и Луны.

Ретроградное (попятное) движение планет



Ретроградное (попятное) движение планет. Объяснение



Физическая модель Евдокса-Аристотеля

Схема движения отдельной планеты
4 сферы

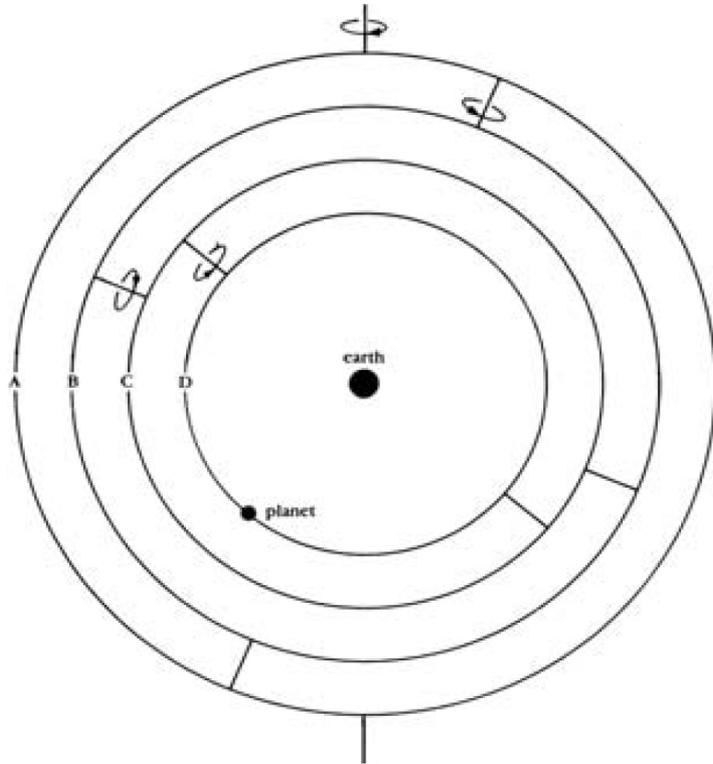
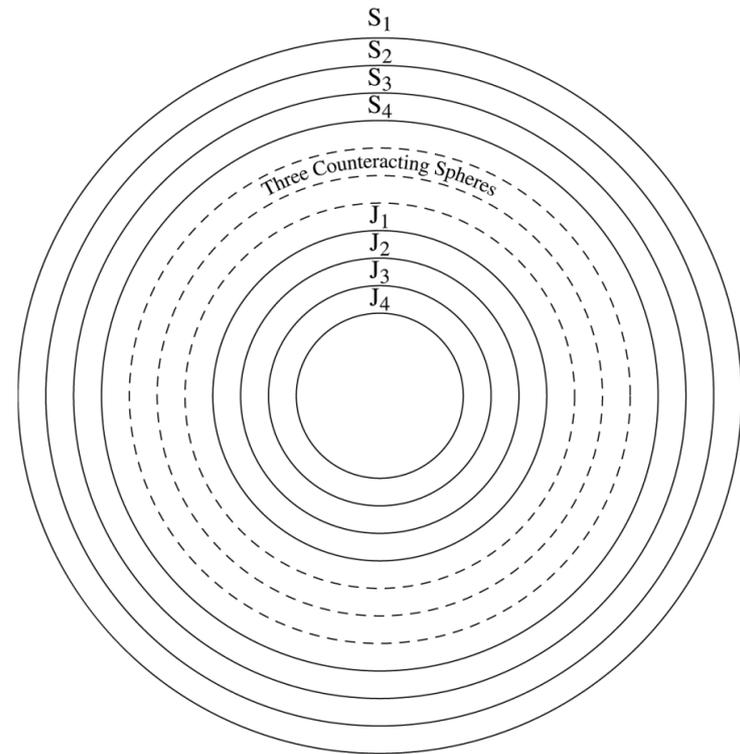
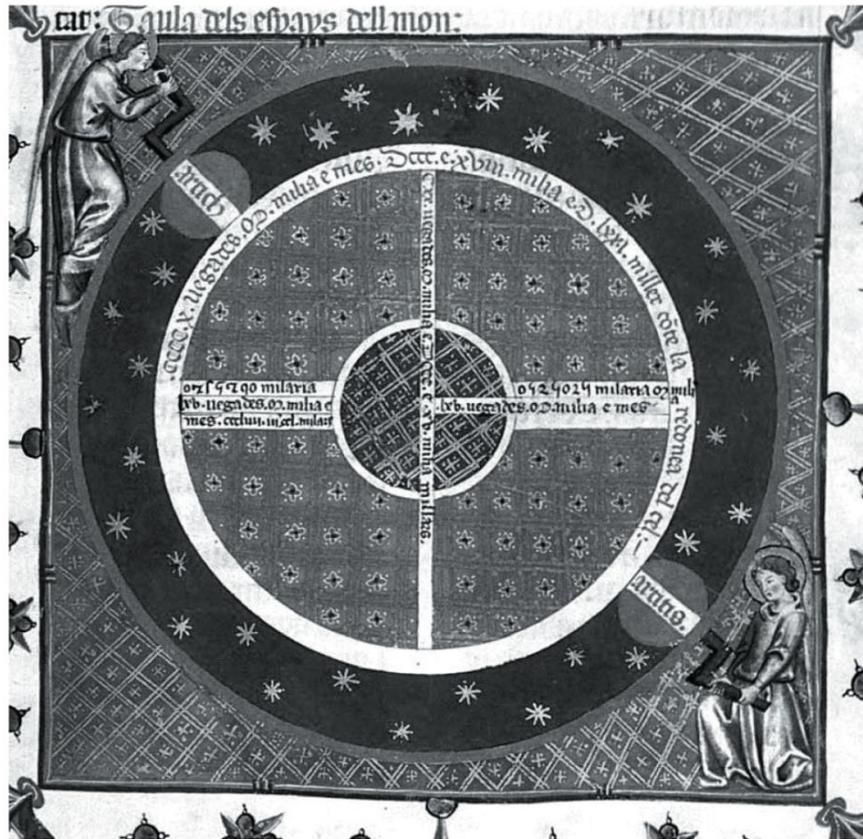


Схема движения двух соседних планет
(Сатурн - Юпитер)
11 сфер

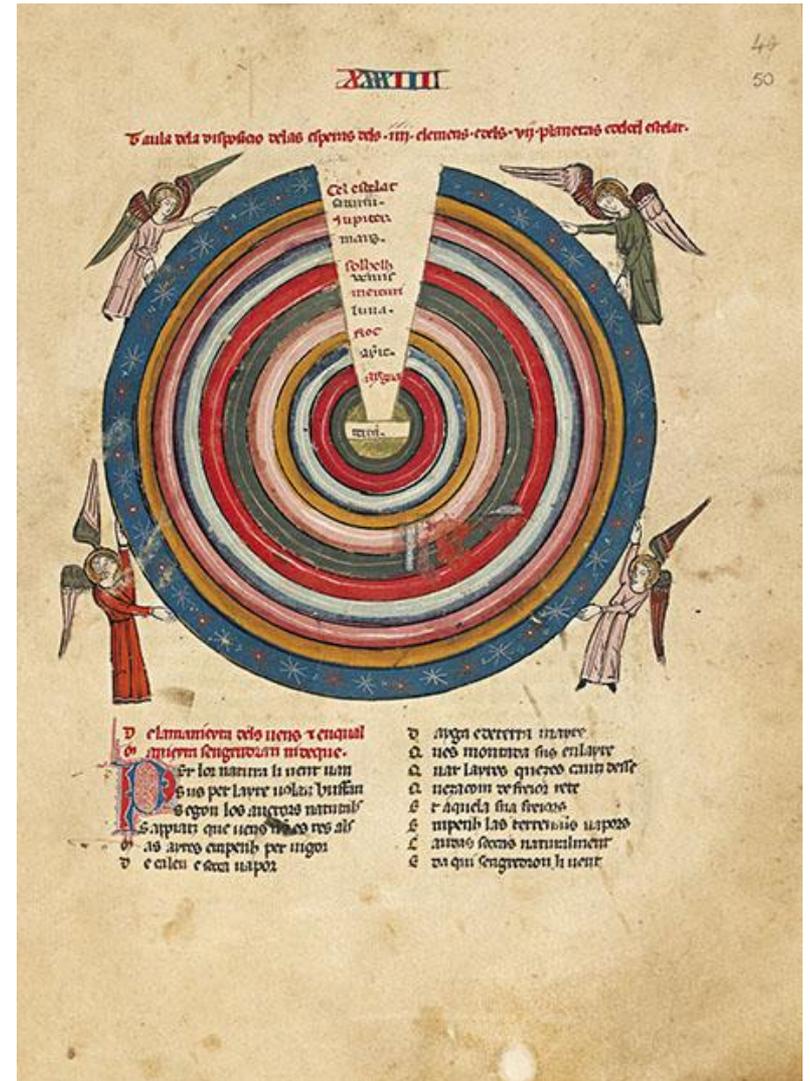


Физика насильственного движения сфер
Breviari d'Amor (XIII-XIV вв.). Внешняя движущая сила.
Внутренне сопротивление отсутствует: сферы – круглые и невесомые.



Механика движения небесных сфер на основе модели Аристотеля (XIII-XIV вв.)

Breviari d'Amor (British Library, Royal 19 C I f. 34v, 50r)



Неизвестный художник (Фландрия). «Небесные движения» (1450-1500)
Гобелен (Toledo, Museo de Santa Cruz)
Проекция небесной сферы на плоскость (астролябий)



«Альмагест» Птолемея. Кинематическая модель движения планет.

В кинематической модели движение сводится к кинематико-геометрическим построениям (без соотнесения с понятием силы).

Законченную форму этот подход приобрел в «Альмагесте» Птолемея (II в. н.э.).

Реализован в трех основных вариантах (и их комбинаций):

– теория деферентов и эпициклов и

– вращение с эксцентрикой (центр вращения не совпадает с Землей).

- теория экванта (для объяснения нарушения равномерности поступательного движения планеты по орбите.)

«Спасение феноменов»

Кинематический подход Птолемея не претендовал на выражение истинного движения, т.е. не предполагал согласования движущих сил с геометрией движения. В этом его принципиальное отличие от физического подхода Аристотеля.

Единственное требование – согласие с результатами наблюдений.

Позднеантичная астрономия. Модели Птолемея (II в. н.э)

Клавдий Птолемей (ок. 100 – ок. 170) – астроном эпохи позднего эллинизма; работал в Александрии. Птолемей жил примерно через пятьсот лет после Евдокса. В своей работе он использовал теоретические достижения, достигнутые греками в течение прошедших столетий. Кроме того, он имел доступ к астрономическим наблюдениям, как греческим, так и вавилонским, проводившимся в течении этого времени. Даже относительно грубые данные, полученные из наблюдений за достаточно большой промежуток времени, полезны для теоретических выводов.

Благодаря Птолемею в планетарной астрономии стали использовать сложные математические методы, которых Евдокс еще не знал. Создавая свои модели, Птолемей преследовал ту же цель, что и Евдокс – найти комбинацию круговых движений, которые могли бы объяснить движение планет. Взяв за основу равномерное круговое движение, Птолемей, в отличие от Евдокса и Аристотеля, относил его не к сферам, а к окружностям.

Основное произведение Птолемея «Великое математическое построение по астрономии в тринадцати книгах» или «Альмагест» (араб.).

Астрономические модели Птолемея

- Модель с эксцентрикой – объяснение видимых неравномерностей движения Луны и Солнца при помощи равномерного движения по окружности специального вида
- Модель с деферентом и эпициклом – объяснение ретроградного движения планет при помощи композиции двух равномерных движений по специально подобранным окружностям
- Модель экванта – объяснение нерегулярного движения планет при помощи неравномерного движения центра эпицикла по окружности. Это движение имеет постоянную угловую скорость по отношению к специальной «уравнивающей» точке (*punctum aequans*), отличной от центра деферента и центра Земли.

Модель с эксцентрикой: объясняет видимые неравномерности движения небесных тел в условиях равномерного вращения по окружности

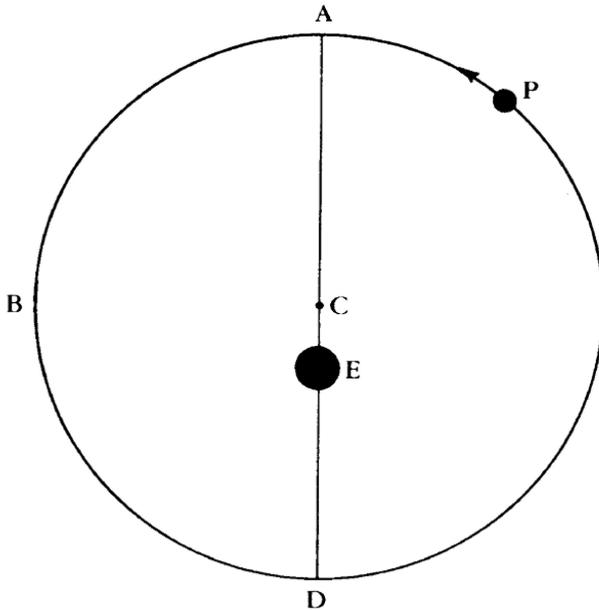
Окружность ABD с центром С – орбита планеты Р.

Если Земля находится в центре, а планета движется по окружности с постоянной угловой скоростью, то для наблюдателя на Земле движение планеты будет равномерным.

Если же Земля находится в точке Е, не совпадающей с центром окружности, то для наблюдателя на Земле движение планеты будет неравномерным. При приближении к точке А оно будет замедляться, а к D –ускоряться.

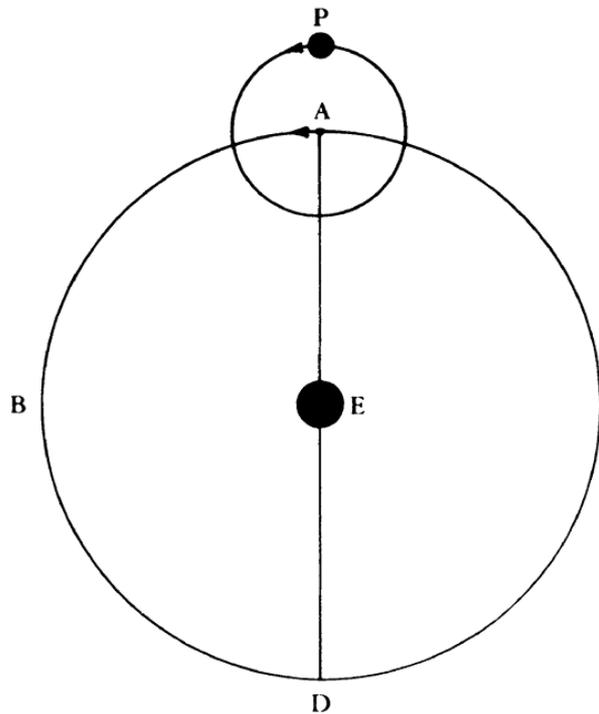
Модель с эксцентрикой Птолемею использовал для простых случаев неравномерного движения: Луны и Солнца вдоль эклиптики (объясняющего неравномерность распределения времен года).

Для движения планет он применял другую модель, основанную на деферентах и эпициклах.



Модель с деферентом и эпициклом

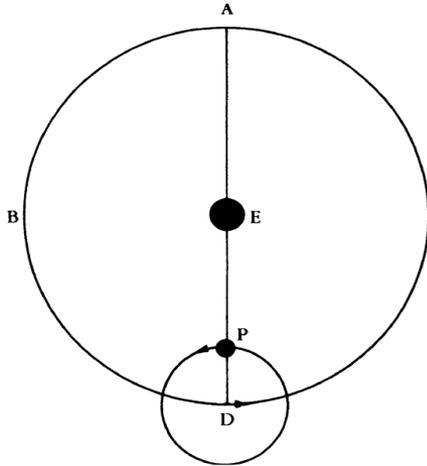
Окружность ABD с центром в точке E, в которой находится Земля, называется деферентом («отклоняющая» или «несущая»). Небольшая окружность с центром в точке A, расположенным на «отклоняющей» окружности, называется эпициклом.



Планета P равномерно движется против часовой стрелки по эпициклу; одновременно центр эпицикла равномерно движется против часовой стрелки по окружности деферента. Наблюдатель, находящийся на Земле, видит сложное движение, составленное из двух равномерных круговых движений. Точные характеристики этого движения зависят от конкретных значений – относительных размеров окружностей, скорости и направления движения.

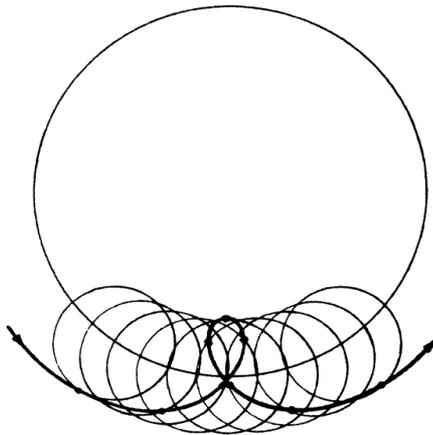
Когда планета P находится за пределами деферента, ее видимое движение будет суммой движений – вокруг эпицикла и эпицикла вокруг деферента; в этот момент планета будет иметь максимальную скорость.

Модель с деферентом и эпициклом – объяснение ретроградного движения

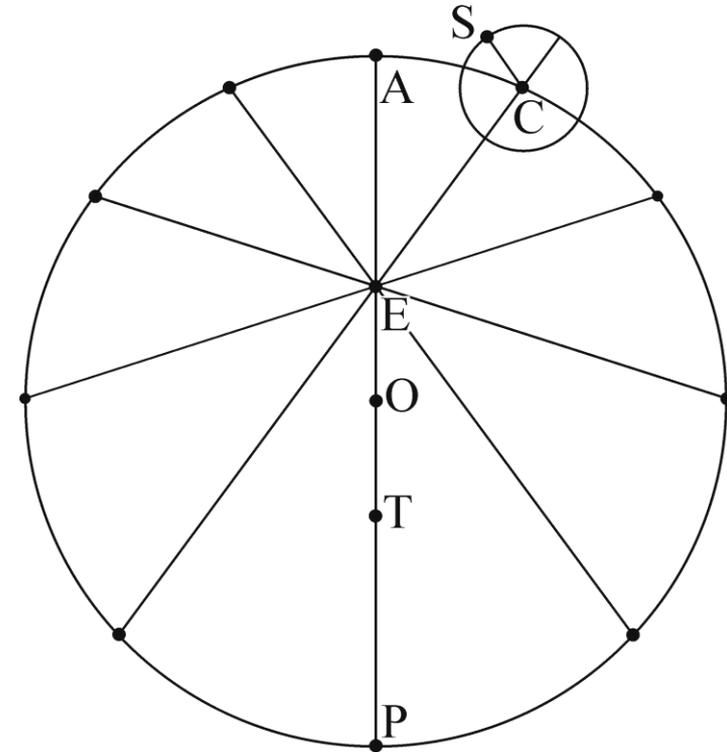
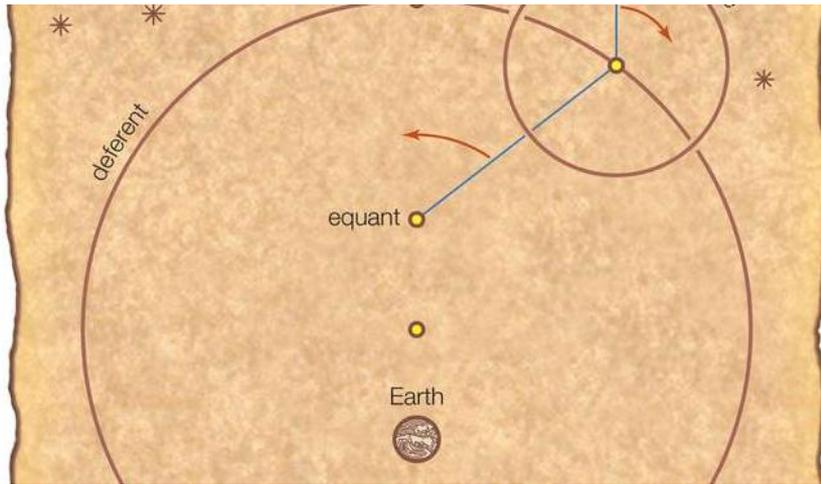


Когда P находится внутри деферента, его движение по эпициклу и движение эпицикла по деференту противоположны (если смотреть с Земли). Видимое движение планеты определяется разностью скоростей этих движений.

Если скорость движения P по эпициклу будет больше скорости движения центра эпицикла по деференту, то планета будет казаться разворачивающейся вспять: для нее наступит фаза ретроградного движения.



Модель с эквантом:
равномерное вращение деферента вокруг экванта (punctum aequans)



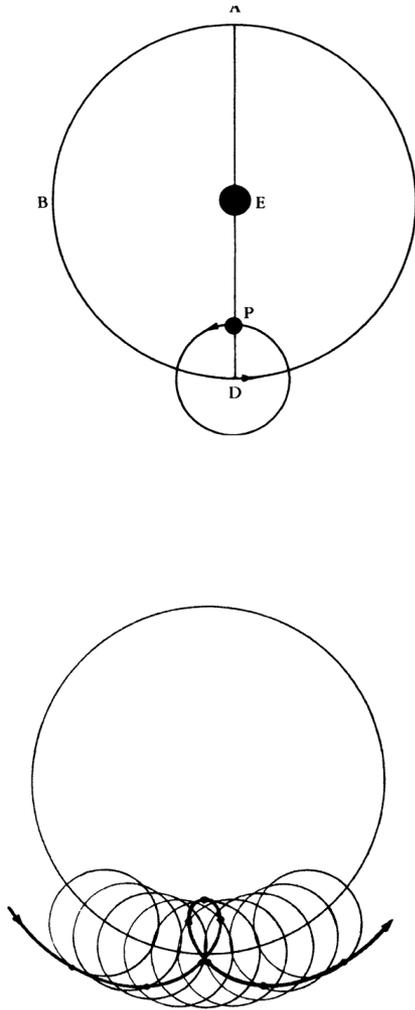
Точки на окружности показывают положения планеты через равные промежутки времени.

О — центр деферента, Т — Земля, Е — точка экванта, А — апогей деферента, Р — перигей деферента, С — центр эпицикла, S — планета,.

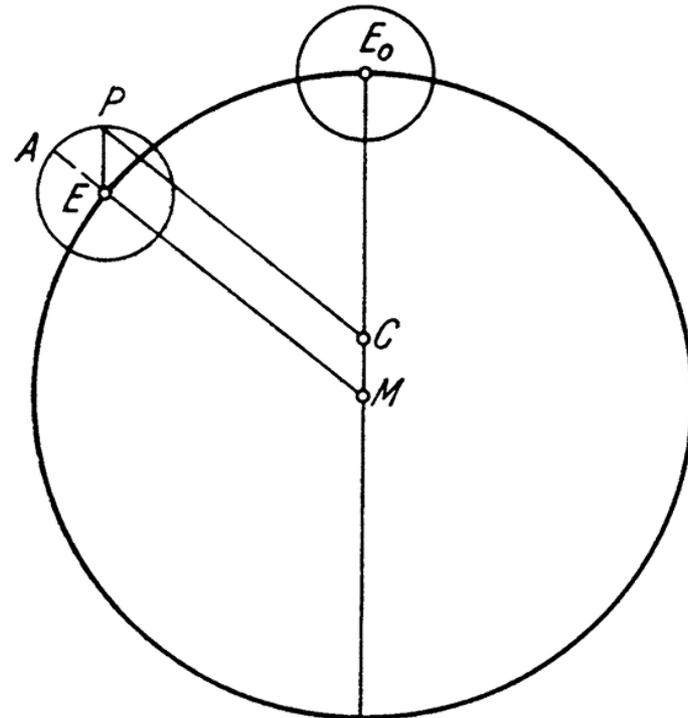
$$TO = EO$$

Кинематические модели Птолемея и идея «спасения феноменов» Эквивалентность двух кинематических теорий: эпициклы и эксцентры

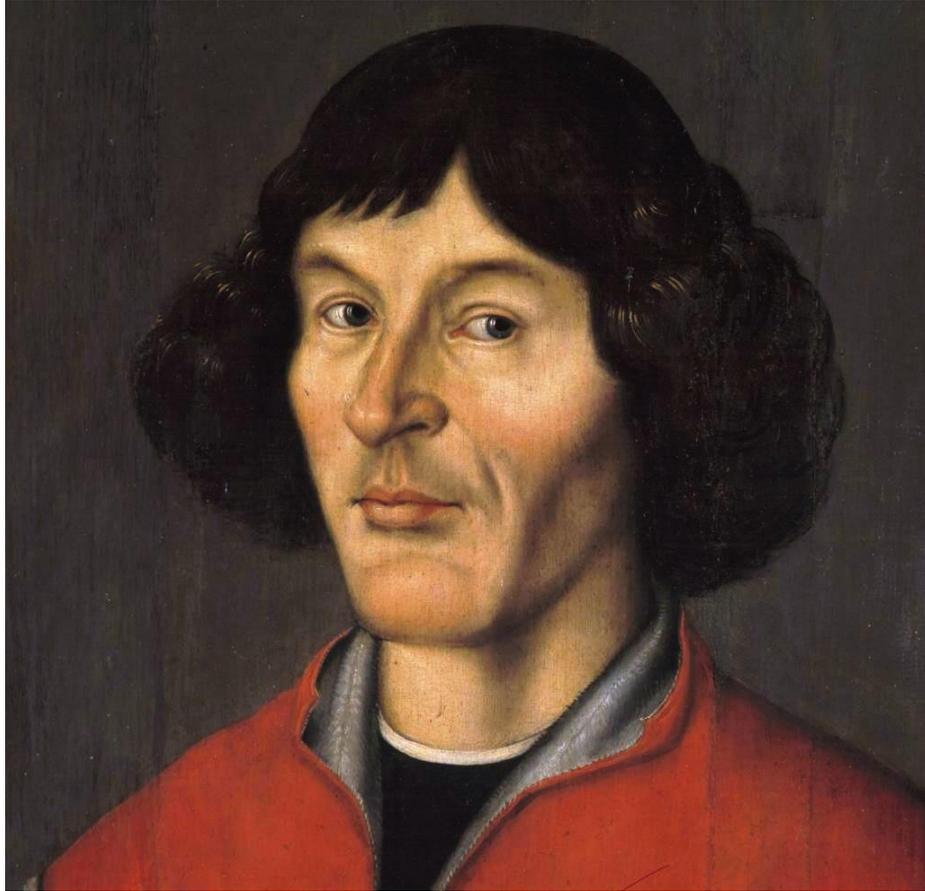
Совокупное движение деферента
и эпицикла



Если эпицикл E обращается с той же
угловой скоростью, что и деферент M ,
но в противоположном направлении,
то совокупное движение совпадает с
движением с эксцентром в т. C .



Николай Коперник (1473– 1543)
Портрет слева (ок. 1580), справа (1597).



Николай Коперник (1473– 1543)

1473 – Коперник родился в г. Торунь (город вошел в состав Польши за несколько лет до рождения Коперника).

Писал на латинском и немецком языке; ни одного документа на польском языке, написанного его рукой, не обнаружено.

С 1482 после ранней смерти отца воспитывается в немецкой семье матери и дяди.

1491 – поступает в Краковский университет, изучал математику, медицину, богословие и астрономию.

1494 – по окончании университета, не получает ученого звания. Ему предстояла духовная карьера.

1497 – поступает в Болонский университет, где помимо богословия занимается астрономией.

1500 – Коперник оставляет университет, не получив диплома и звания.

1503 – Наконец, сдает экзамены, получает диплом и степень доктора канонического права.

Николай Коперник (1473– 1543)

1506 – возвращается на родину. Занимается астрономическими наблюдениями и преподаванием в Кракове.

1512 – Коперник переезжает во Фромборк и приступает к своим духовным обязанностям. Научные исследования, однако, он не прекращает. Башня крепости Фромборк становится его обсерваторией.

1503–1512 – Коперник распространяет рукописный конспект своей теории «Малый комментарий о гипотезах, относящихся к небесным движениям» (*Commentariolus*)

1514 – папа Лев X приглашает Коперника принять участие в подготовке календарной реформы. Коперник отказывается.

1531 – Коперник удаляется от дел и сосредотачивается на завершении своей главной книги «О вращении небесных сфер» (*De revolutionibus orbium coelestium*).

1543 – Смерть Коперника. Публикация трактата.

Мотивы создания гелиоцентрической системы. Мнения историков.

Мотив 1. Стремление освободиться от экванта. Использование экванта, к которому прибегал Птолемей, нарушало требование Платона о равномерности движений по окружностям. Об этом мотиве пишет сам Коперник в «Малом комментарии». Отсутствие экванта в его системе также ставили в заслугу Копернику современные ему астрономы.

N. Swerdlow, R. Westman

В основе гелиоцентрической модели Коперника лежит традиционная модель Птолемея с деферентами и эпициклами, но без эквантов. Планеты в ней вращаются по тем же принципам, что и в системе Птолемея, только теперь их движение происходит не вокруг Земли, а вокруг Солнца и поэтому описывается проще (в частности, из-за отсутствия экванта). Коперник сохраняет аппарат теории Птолемея, поскольку сама эта теория давала результаты в пределах точности, доступной для наблюдений *невооруженным* глазом.

Мотив 2. Желание Коперника объяснить прецессию равноденствий (в контексте реформы календаря).

И.Н. Веселовский

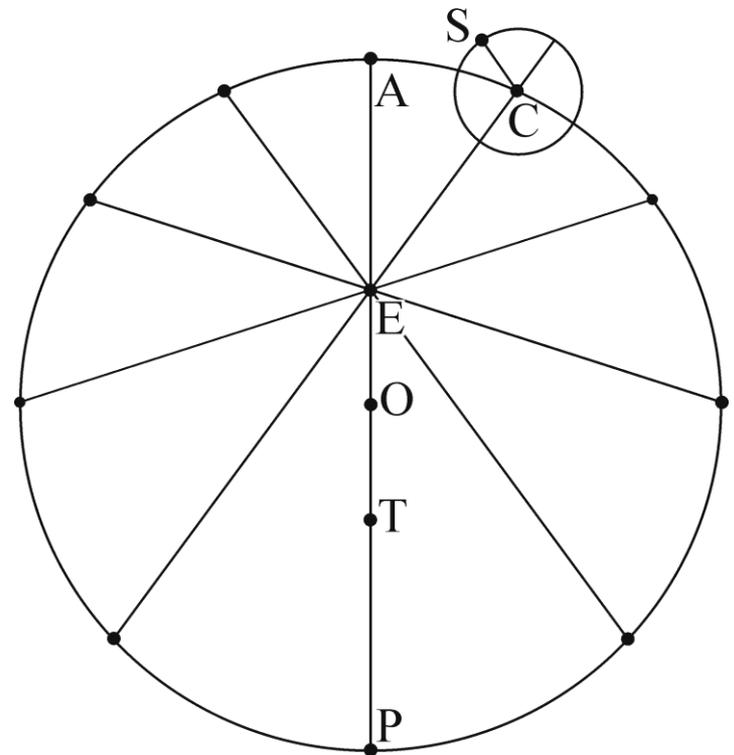
В конечном итоге, реформа – переход с Юлианского календаря на Григорианский – была проведена под руководством Христофора Клавия в рамках традиционной геоцентрической модели (1582).

Движение планеты выглядит равномерным при наблюдении не из центра деферента, но некоторой точки E , которая называется *эквантом*, или уравнивающей точкой.

Земля T также находится не в центре деферента, а смещена в сторону симметрично точке экванта относительно центра деферента. Угловая скорость центра эпицикла относительно экванта неизменна, а при наблюдении из центра деферента угловая скорость центра эпицикла при движении планеты меняется. Также изменяется линейная скорость: чем ближе к Земле, тем она больше. Происходит нарушение постулата Платона.

Точки на окружности показывают положения планеты через равные промежутки времени. O — центр деферента, T — Земля, E — точка экванта, A — апогей деферента, P — перигей деферента, C — центр эпицикла, S — планета. $TO = EO$

Эквант в «Альмагесте»
Птолемея



Коперник: Почему необходимо отказаться от экванта. «Малый комментарий»

Коперник :

«Наши предки ввели множество небесных сфер ... для того, чтобы сохранить принцип равномерности для объяснения видимых движений светил. Им казалось слишком нелепым, что небесное тело в своей совершенной сферичности не будет всегда двигаться равномерно.

Однако, они полагали возможным, что при сложении или совместном участии нескольких правильных движений светила будут казаться по отношению к какому-либо месту движущимися неравномерно.

Этого не могли добиться Калипп и Евдокс, старавшиеся получить решение посредством концентрических кругов и ими объяснить все особенности движений планет ...

Поэтому было сочтено лучшим мнение, что это можно воспроизвести при помощи эксцентрических кругов и эпициклов, с чем, наконец, большая часть ученых и согласилась.

«Малый комментарий»

Однако все то, что об этом ... дается Птолемеем и многими другими, хотя и соответствует числовым расчетам, но тоже возбуждает немалые сомнения. Действительно, все это оказалось достаточным только при условии, что надо выдумать некоторые круги, называемые *эквантами*.

Но тогда получалось, что светило двигалось с постоянной скоростью не по несущей его орбите и не вокруг собственного ее центра. Поэтому подобные рассуждения не представлялись достаточно совершенными и не вполне удовлетворяли разум.

Так вот, обратив на это внимание, я часто размышлял, нельзя ли найти какое-нибудь более рациональное сочетание кругов, которым можно было бы объяснить все видимые неравномерности, причем каждое движение само по себе было бы равномерным, как этого требует принцип совершенного движения».

В результате Коперник приходит к необходимости ввести постулаты новой гелиоцентрической системы:

«Малый комментарий»

Первое требование. Не существует одного центра для всех небесных орбит или сфер.

Второе требование. Центр Земли не является центром мира, но только центром тяготения и центром лунной орбиты.

Третье требование. Все сферы движутся вокруг Солнца, расположенного как бы в середине всего, так что около Солнца находится центр мира.

Четвертое требование. Отношение, которое расстояние между Солнцем и Землей имеет к высоте небесной тверди, меньше отношения радиуса Земли к ее расстоянию от Солнца, так что по сравнению с высотой тверди оно будет даже неощутимым.

Пятое требование. Все движения, замечающиеся у небесной тверди, принадлежат не ей самой, но Земле. Именно Земля с ближайшими к ней стихиями вся вращается в суточном движении вокруг неизменных своих полюсов, причем твердь и самое высшее небо остаются все время неподвижными.

Шестое требование. Все замечаемые нами у Солнца движения не свойственны ему, но принадлежат Земле и нашей сфере, вместе с которой мы вращаемся вокруг Солнца, как и всякая другая планета; таким образом, Земля имеет несколько движений.

Седьмое требование. Кажущиеся прямые и попятные движения планет принадлежат не им, но Земле. Таким образом, одно это ее движение достаточно для объяснения большого числа видимых в небе неравномерностей.

Первый шаг: признание вращения Земли вокруг оси

Критика Птолемея идеи вращения Земли и контраргумент Коперника

Птолемей:

считал, что при вращении Земли развивалась бы огромная скорость на ее поверхности, разрушающая сооружения и неровности на земле; в полете снарядов, выпущенных из баллист, в полете птиц, в движении облаков наблюдалось бы отклонение их в сторону, противоположную вращению Земли.

Отсутствие этого отклонения Птолемей считал доказательством неподвижности Земли.

Коперник:

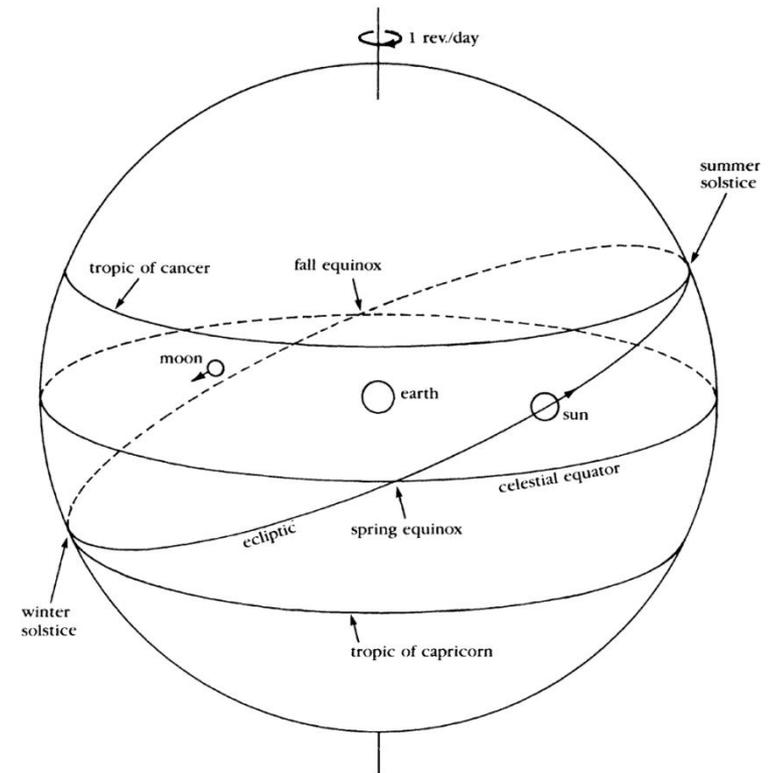
так как размеры вселенной во много раз больше размеров Земли, то вращение сферы звезд вокруг центра Земли приводит к скоростям, во много раз большим, чем на поверхности Земли.

Поэтому рассеяться должна звездная сфера, что не наблюдается.

Второй мотив. Прецессия (предварение) равноденствий

В теории Птолемея была «Ахиллесова пята»:

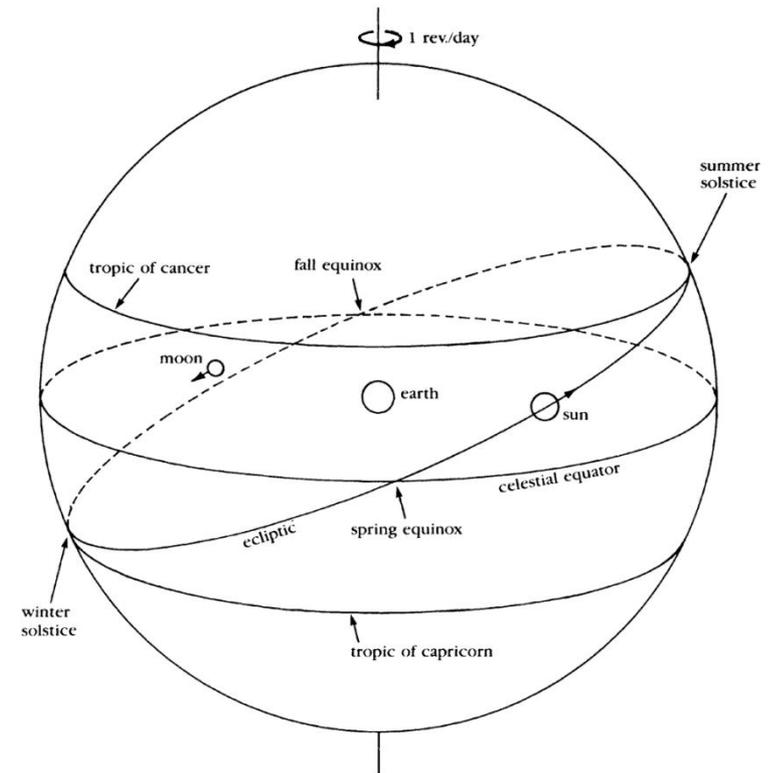
она не могла объяснить прецессий равноденствий, которая укорачивает тропический год (от равноденствия до равноденствия) по сравнению с сидерическим (возвращение к тому же положению относительно неподвижных звезд). Это движение изменяет эклиптическую долготу звезды примерно на один градус в столетие.



Прецессия или предварение равноденствий

Значение прецессии не было особенно большим в эпоху создания «Альмагеста», но стало важным около 1500 г.

В эпоху установления юлианского календаря принятая продолжительность гражданского года ($365 \frac{1}{4}$ дней) не очень отличалась от тропического, но эта несущественная разница, накапливаясь с течением времени, приводила к тому, что точка весеннего равноденствия, определяющая начало года, перемещалась по эклиптике навстречу движения Солнца, так что новое равноденствие происходило несколько раньше, чем ему следовало.



Прецессия равноденствий и ее значение для календаря

Вследствие этого за четыре века начало тропического года наступало на **один** день раньше, чем это следовало по календарю. По тропическому году определялись некоторые церковные праздники, в первую очередь Пасха, что приводило к некоторой путанице. Соответствующая ошибка была исправлена на Никейском соборе 325 г. В дальнейшем же этим вопросом не занимались, и он встал лишь в конце средневековья; к началу XVI в. разница в датах достигала **десяти** дней.

Астрономы не могли не только объяснить этого явления, но даже хотя бы приблизительно определить его характер. Первоначально считали, что перемещение точки весеннего равноденствия имеет периодический колебательный характер, и тогда его можно было бы учесть при помощи введения нового эпицикла. Однако эта точка постоянно шла вперед, переместившись в историческое время из созвездия Овна в созвездие Рыб, то есть, примерно **на 30°**.

Таково было положение в эпоху Коперника. В 1514 г. вопрос о реформе календаря рассматривался на Латеранском соборе в специальной комиссии. Коперник официально не участвовал в соборе, но состоял в переписке с его председателем и серьезно занимался этим делом.

Схема движения Земли

1. Вращение вокруг оси (ось вращения сохраняет ориентацию)
2. Поступательное движение по орбите

Движение по орбите, в свою очередь, состоит из двух движений – инерциального по касательной и центростремительного по радиусу.

Все три движения независимы



Схема движения Земли по Копернику. Три вращения О вращении небесных сфер (кн. I, гл. XI)

1. Вращение Земли вокруг собственной оси NS с угловой скоростью ω .

2. Вращение оси NS вокруг оси OO' , проходящей через центр O орбиты Земли перпендикулярно к плоскости эклиптики с угловой скоростью ω' ; в этом вращении плоскость $OO'A$, проведенная через обе оси OO' и NS , вращается вокруг неподвижной оси OO' и ось NS должна все время проходить через точку O' . Следовательно, по истечении полуоборота, когда центр Земли из A переходит в B , ось Земли переходит в положение $N'S'$.

Если бы Земля имела только два эти вращения, то на Земле не было бы смены времен года; на каждой широте происходила бы только смена дня и ночи, а время года оставалось постоянно одним и тем же.

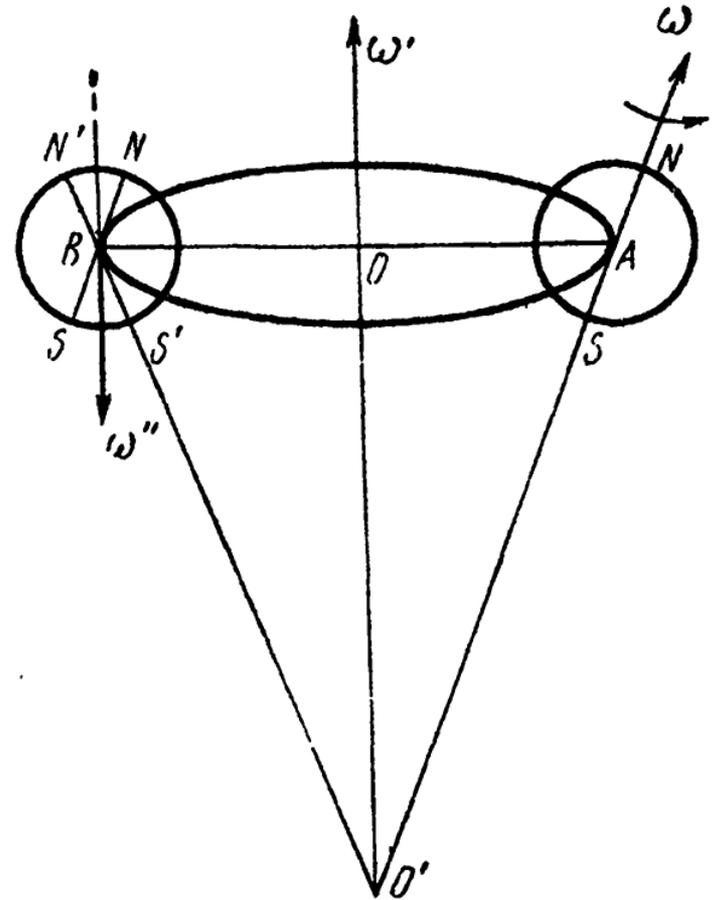


Схема движения Земли (по Копернику).

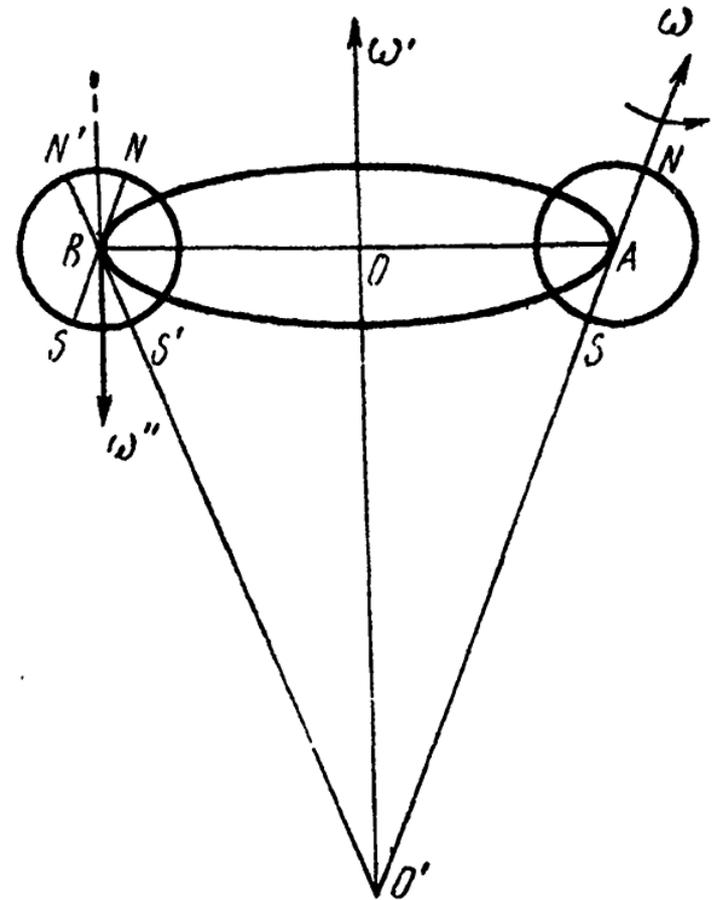
Три вращения. Объяснение прецессии равноденствий

3. В действительности ось вращения Земли перемещается поступательно и в точке B занимает положение NS . Для осуществления перехода из положения $N'S'$ в NS Коперник ввел третье вращение вокруг оси, проходящей через центр Земли B параллельно OO' , которое совершается с такой же угловой скоростью ω'' и тоже в течение года, но только в противоположную сторону.

Оба эти вращения (ω' , ω'') образуют так называемую пару вращений, эквивалентную круговому поступательному движению с тем же годовым периодом.

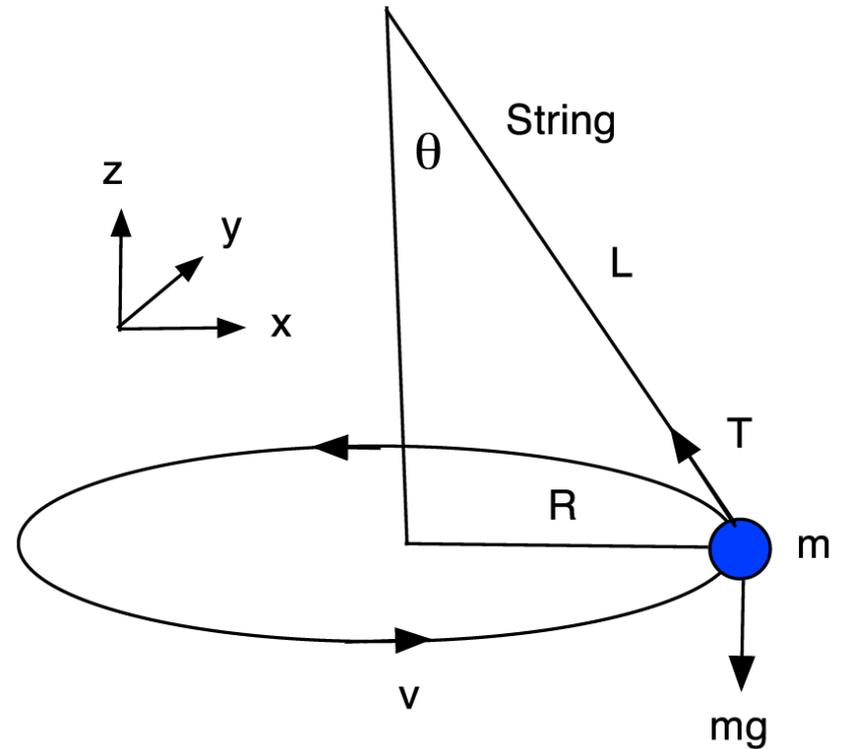
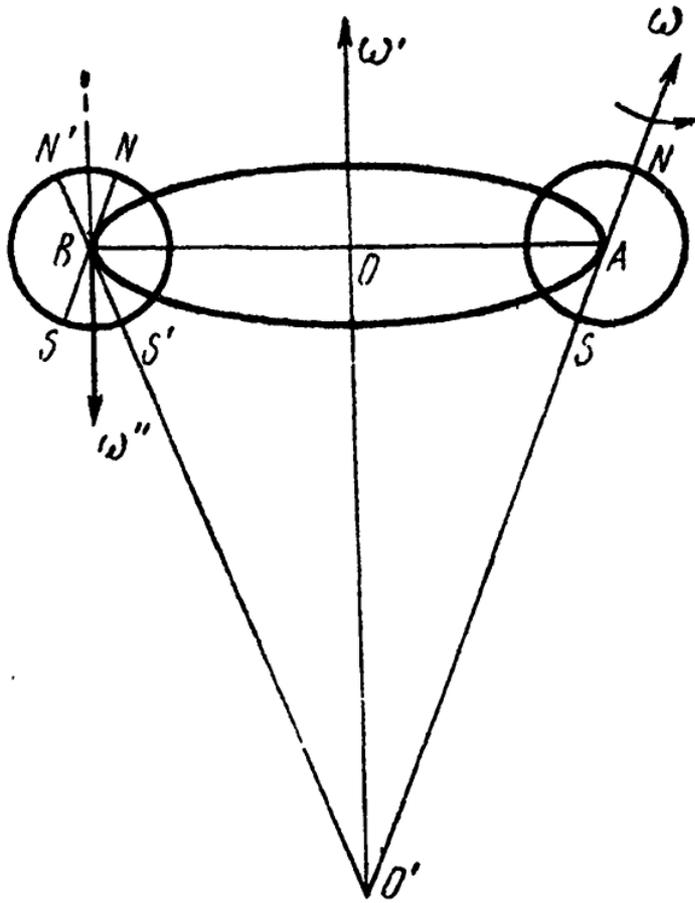
Описанное построение Коперник использовал для объяснения прецессии:

Он предположил, что вторая угловая скорость ω'' не равна ω' , но лишь немного от нее отличается; разность этих угловых скоростей и объясняет явление прецессии.



Модель Коперника и конический маятник.

Роберт Гук. Конический маятник как модель планетарного движения (1674).



Роберт Гук (1674)

Исследование движений конического маятника
как аналога планетарного движения.

Трактат «An Attempt to prove the annual motion of the Earth» (1674)

Гипотеза под номером 3:

«Силы притяжения действуют тем сильнее, чем ближе к их центру находится тело, на которое они действуют.

Что касается пропорции, в которой эти силы уменьшаются по мере увеличения расстояния, признаюсь, что я еще не проверил ее экспериментально, но это идея, которая, если ей следовать так, как она того заслуживает, будет очень полезна астрономам для сведения небесных движений к определенному правилу, и я сомневаюсь, что без этого его когда-либо можно будет найти.

Тот, кто понимает природу кругового (конического – *Е.З.*) маятника и (его) кругового движения, легко поймет основу этого принципа и будет знать, как найти в природе указания для его точного установления.

Сказанное – указание для тех, у кого есть досуг и возможности для такого исследования».

Модель Гука. Вопросы для самостоятельной работы

Рассмотрим конический маятник.

Предположим, что его нить растяжима (на груз действует сила Гука).

При каких условиях модель конического маятника может быть использована для описания планетарных движений?

Точнее: могут ли для движения такого маятника выполняться законы Кеплера?

Если да, то какие?

2. Коперниканский переворот и его значение.

Идеологическая борьба вокруг учения Н. Коперника.

Борьба католической церкви с теорией Коперника

Католическая церковь, занятая борьбой с Реформацией, первоначально снисходительно отнеслась к новой астрономии

Вожди протестантов (Мартин Лютер, Меланхтон), напротив, отнеслись к ней резко враждебно. В «Застольных беседах Лютера» изданных после его смерти есть такое высказывание:

«Говорят о каком-то новом астрологе, который доказывает, будто Земля движется, а небо, Солнце и Луна неподвижны; будто здесь происходит то же, что при движении в повозке или на корабле, когда едущему кажется, что он сидит неподвижно, а земля и деревья бегут мимо него. Ну, да ведь теперь всякий, кому хочется прослыть умником, старается выдумать что-нибудь особенное. Вот и этот дурак (нем. *Narr*) намерен перевернуть вверх дном всю астрономию».

Благожелательное отношение Ватикана к гелиоцентризму в первой половине XVI века было связано и с тем, что для предстоящей реформы календаря были полезны наблюдения Солнца и Луны, содержащиеся в книге Коперника. Папа Климент VII даже прослушал в 1533 году лекцию о гелиоцентрическом подходе, подготовленную учёным кардиналом Вигманштадтом.

Отдельные епископы уже тогда выступили с критикой гелиоцентризма как опасной ереси.

Борьба католической церкви с теорией Коперника (продолжение)

В 1616 году, при папе Павле V, католическая церковь официально запретила *придерживаться и защищать* теорию Коперника как гелиоцентрическую систему мира, поскольку такое истолкование противоречит Писанию. При этом гелиоцентрической моделью по-прежнему разрешалось пользоваться для математических расчётов движения планет.

Теологическая комиссия экспертов по запросу инквизиции рассмотрела два положения, вобравшие в себя суть учения Коперника, и вынесла следующий вердикт :

Предположение I: Солнце является центром мироздания и, следовательно, неподвижно. Все считают, что это заявление нелепое и абсурдное с философской точки зрения, и кроме того формально еретическое, так как выражения его во многом противоречат Священному Писанию, согласно буквальному смыслу слов, а также обычному толкованию и пониманию Отцов Церкви и учителей богословия.

Предположение II: Земля не есть центр мироздания, она не является неподвижной и движется как целостное (тело) и к тому же совершает суточное обращение. Все считают, что это положение заслуживает такого же философского осуждения; с точки зрения богословской истины, оно, по крайней мере, ошибочно в вере.

Борьба католической церкви с теорией Коперника (окончание)

Самым известным следствием этого решения в XVII веке стал суд над Галилеем (1633 год), нарушившим церковный запрет в своей книге «Диалоги о двух главнейших системах мира».

Вопреки устоявшемуся мнению, сама книга Коперника была формально запрещена инквизицией лишь на 4 года, однако подверглась цензуре. В 1616 году внесена в Индекс запрещенных книг с пометкой «до исправления». Требуемые цензурные поправки, которые необходимо было внести владельцам книги для возможности дальнейшего использования, были обнародованы в 1620 году. Эти исправления в основном касались утверждений, из которых следовало, что гелиоцентризм является не просто математической моделью, но отражением реальности.

Сохранилось множество экземпляров первого (1543), второго (1566) и третьего (1617) изданий, принадлежавших, в частности, известным астрономам и другим историческим личностям, в которых владельцы выполнили предписания цензуры с разной степенью лояльности: от затушёвывания требуемых фрагментов Коперника, до полного игнорирования предписаний. Около 2/3 сохранившихся копий из Италии были исправлены их владельцами, в то время как подавляющее большинство копий из других стран не правилось. Испанский индекс запрещенных книг явным образом разрешал книгу.

Экземпляры второго и третьего издания привезли в Китай иезуитские миссионеры в 1618 году во время формального действия запрета.

Книга была исключена из римского Индекса запрещённых книг только в 1835 году.

Основные вопросы

1. Можно ли назвать открытие Коперника революцией? Проблема спасения феноменов. В предисловии Андреаса Озиандера к книге Коперника отмечено, что движение Земли является остроумным вычислительным приёмом, но понимать Коперника буквально не следует. Поскольку Озиандер не подписал предисловие своим именем, в XVI столетии многие полагали, что таково мнение самого Николая Коперника.

2. Использование Коперником традиционной схемы деферентов и эпициклов Птолемея. Кинематический характер теории Коперника (абстрагирование от физической природы сил, действующих на небесные тела).

3. Физическая астрономия И. Кеплера – первая попытка физической трактовки движений небесных тел.

4. Отношение католической церкви к теории Коперника. Осуждение Галилея. Вопрос о Дж. Бруно.

5. Мироощущение человека в геоцентрической и гелиоцентрической системе мира.

6. Что является причиной (источником) времени?