

История и методология механики

Лекция № 6

Евгений Алексеевич Зайцев

e_zaitsev@mail.ru

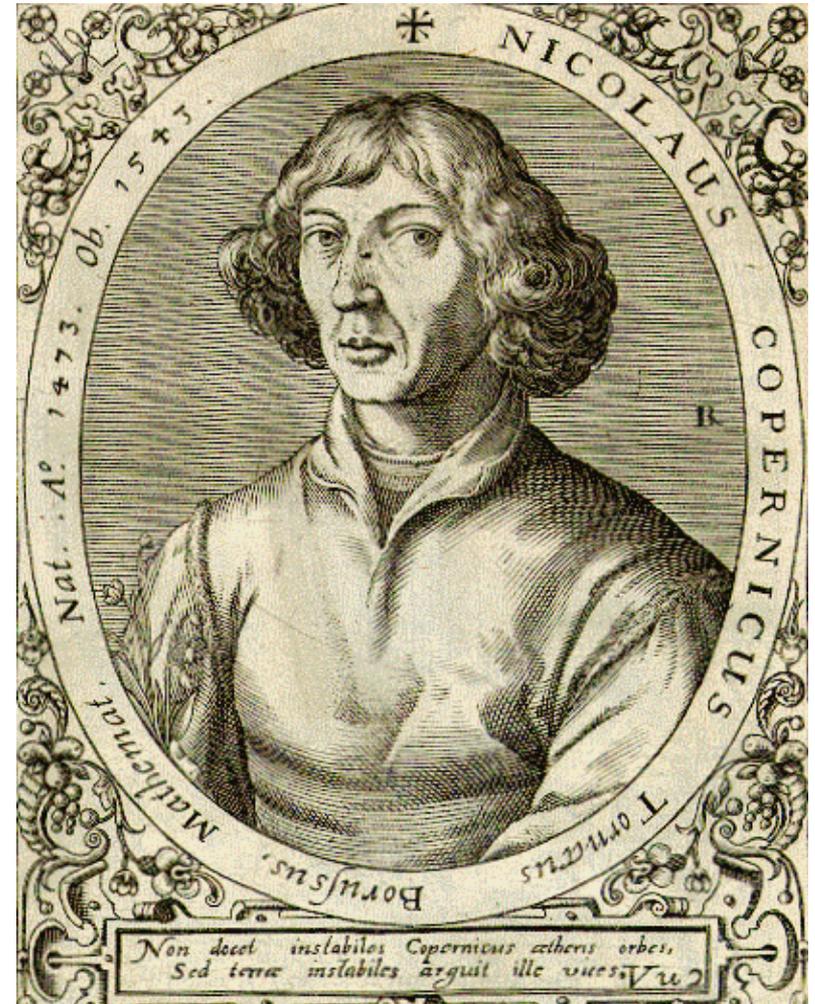
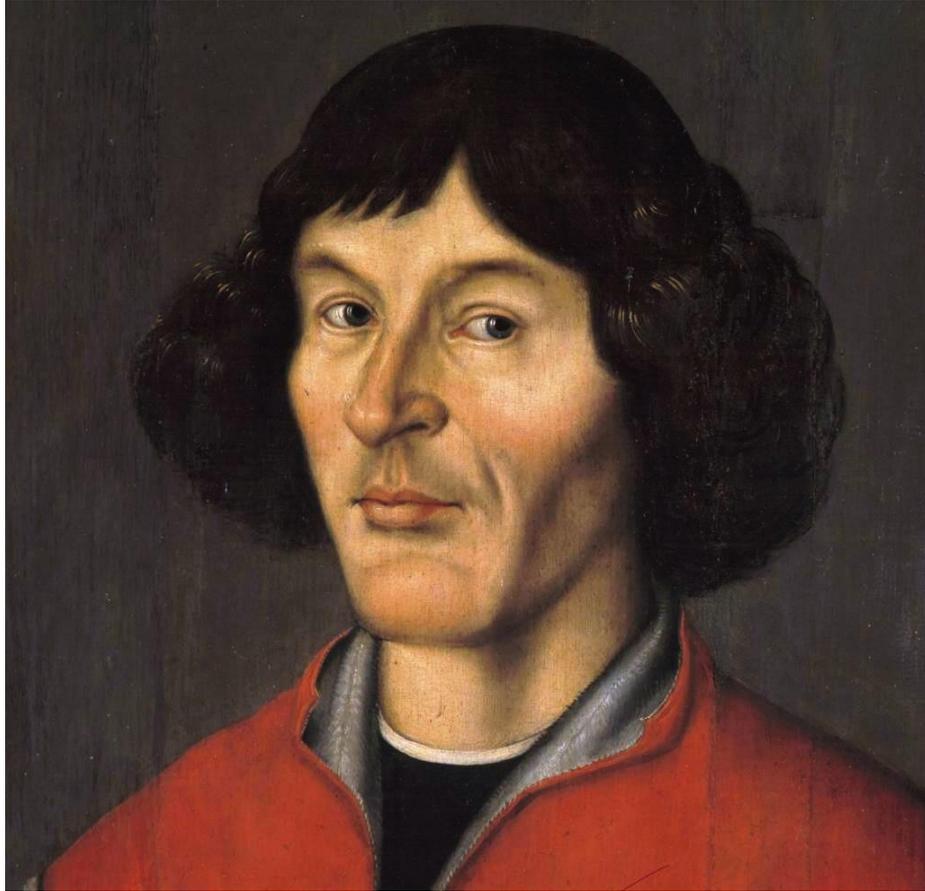
План лекции

1. Николай Коперник. Создание гелиоцентрической системы мира.

2. Коперниканский переворот и его значение.

Идеологическая борьба вокруг учения Н. Коперника.

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*)

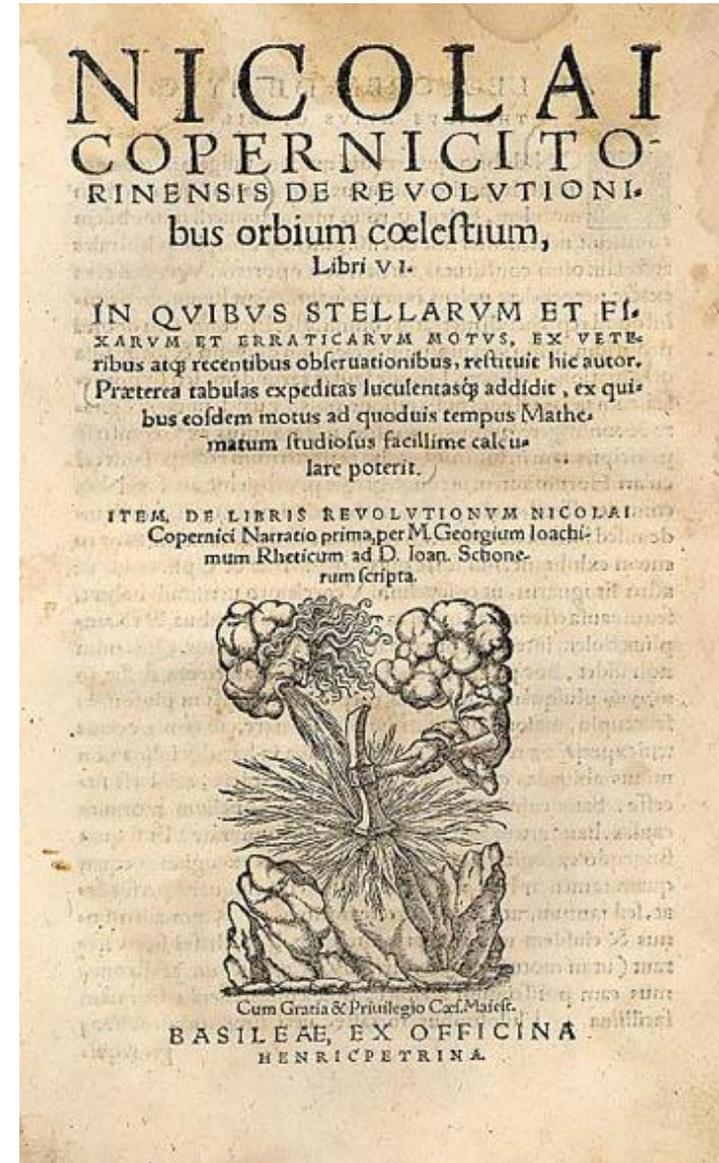
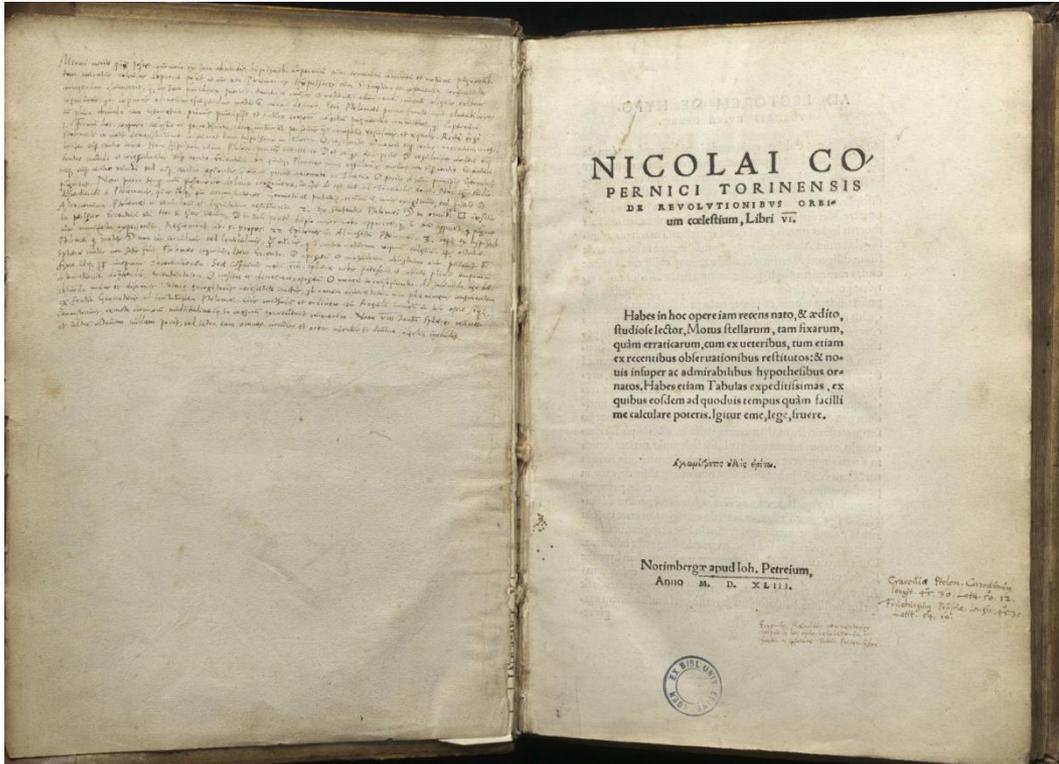
1514 – папа Лев X приглашает Коперника принять участие в подготовке календарной реформы. Коперник отказывается.

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.

De revolutionibus orbium coelestium

Слева – первое (1543), справа – второе (1566) издание



Мотивы создания гелиоцентрической системы. Мнения историков.

Мотив 1. Стремление Коперника 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

С точки зрения кинематики 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. 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

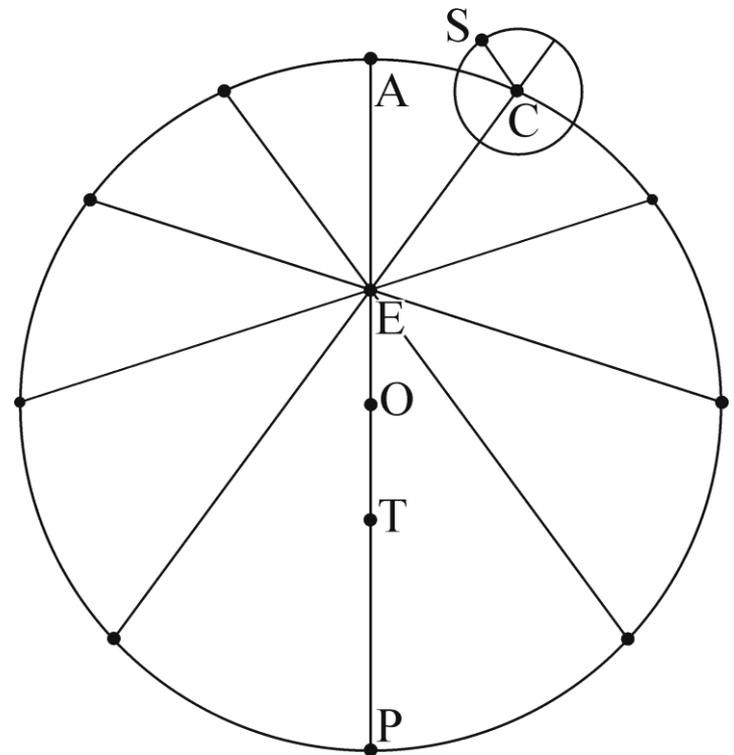
В конечном итоге, реформа – переход с Юлианского календаря на Григорианский – была проведена под руководством Христофора Клавия в рамках традиционной геоцентрической модели (1582).

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



«Малый комментарий». Отказ от экванта. Объяснение Коперника

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 новые постулаты.

«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.

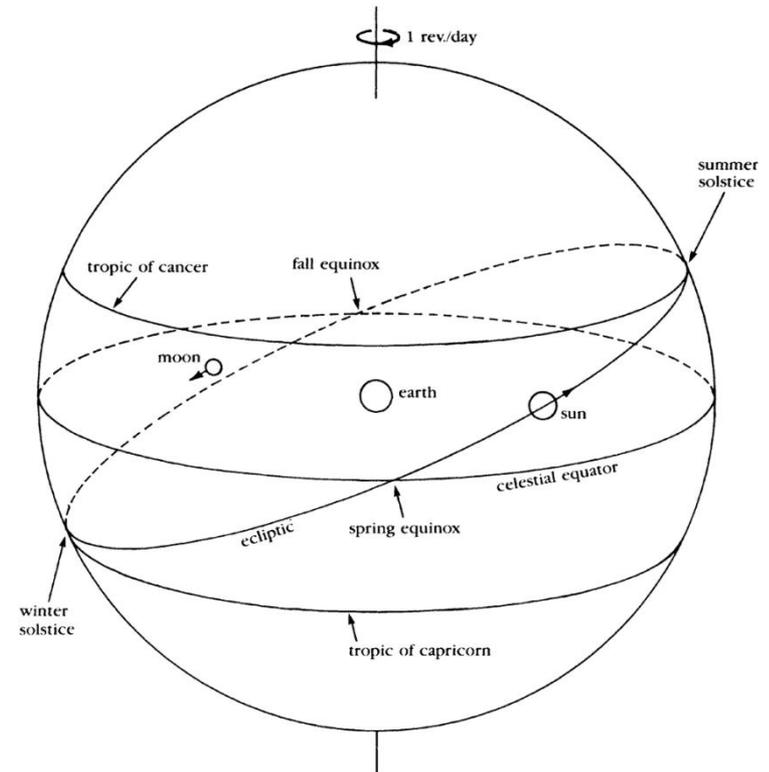
Шестое требование. Все замечаемые нами у Солнца движения не свойственны ему, но принадлежат Земле и нашей сфере, вместе с которой мы вращаемся вокруг Солнца, как и всякая другая планета; таким образом, Земля имеет несколько движений.

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.

Прецессия или предварение равноденствий

В теории Птолемея была «Ахиллесова пята»:

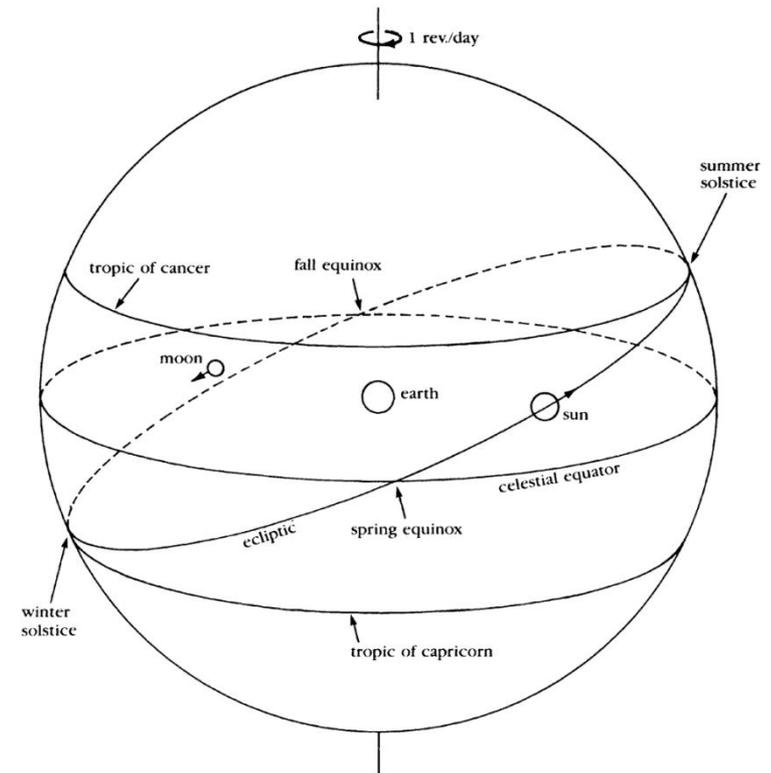
она не могла объяснить прецессий равноденствий, которая укорачивает тропический год (от равноденствия до равноденствия) по сравнению с сидерическим (возвращение к тому же положению относительно неподвижных звезд). Это движение изменяет эклиптическую долготу звезды примерно на один градус в столетие.



Прецессия или предварение равноденствий

Значение прецессии не было особенно большим в эпоху создания «Альмагеста», но сделалось важнейшим 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, накопляясь с течением времени, приводила к тому, что точка весеннего равноденствия, определяющая начало года, перемещалась по эклиптике навстречу движению 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.

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.

Схема движения Земли (по И. Ньютону)

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

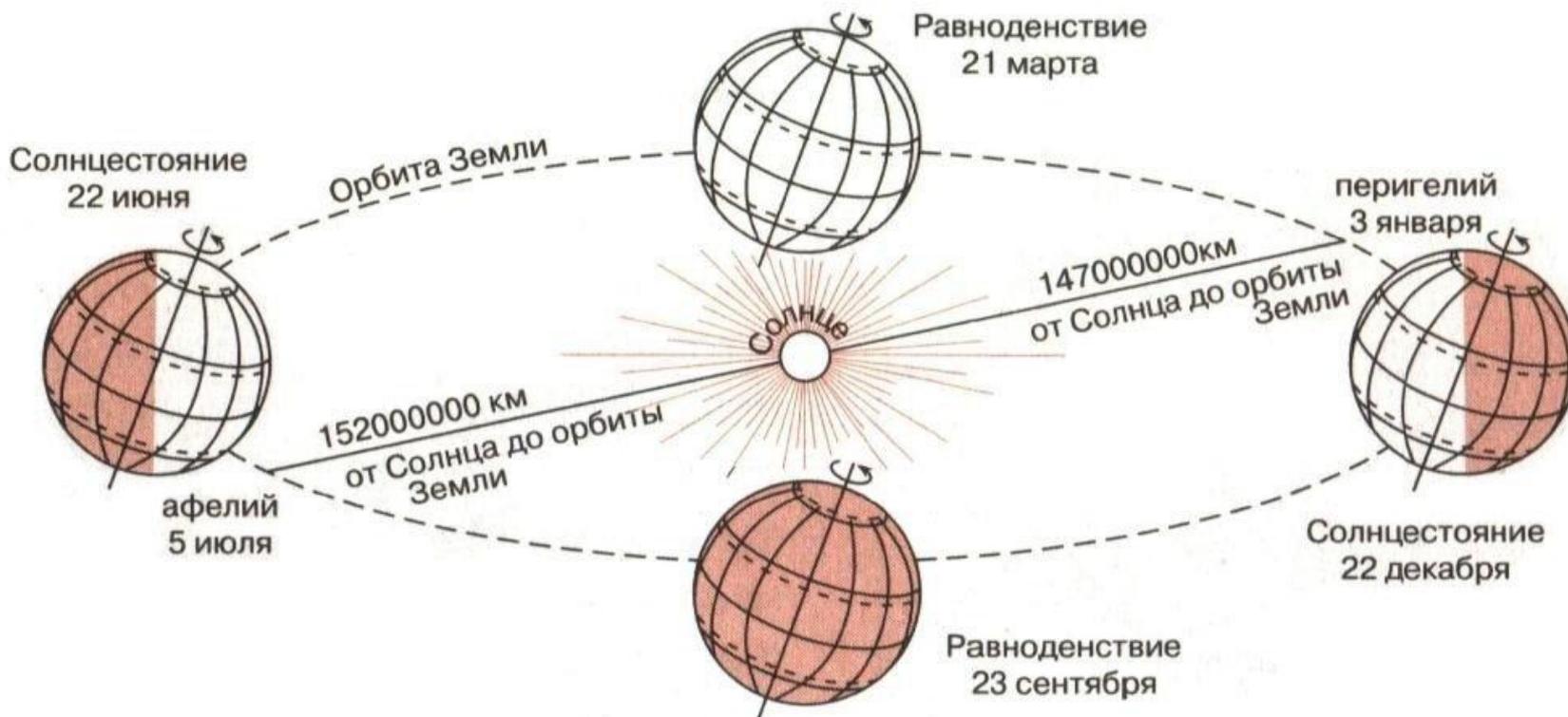


Схема движения Земли по Копернику. Три вращения

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.

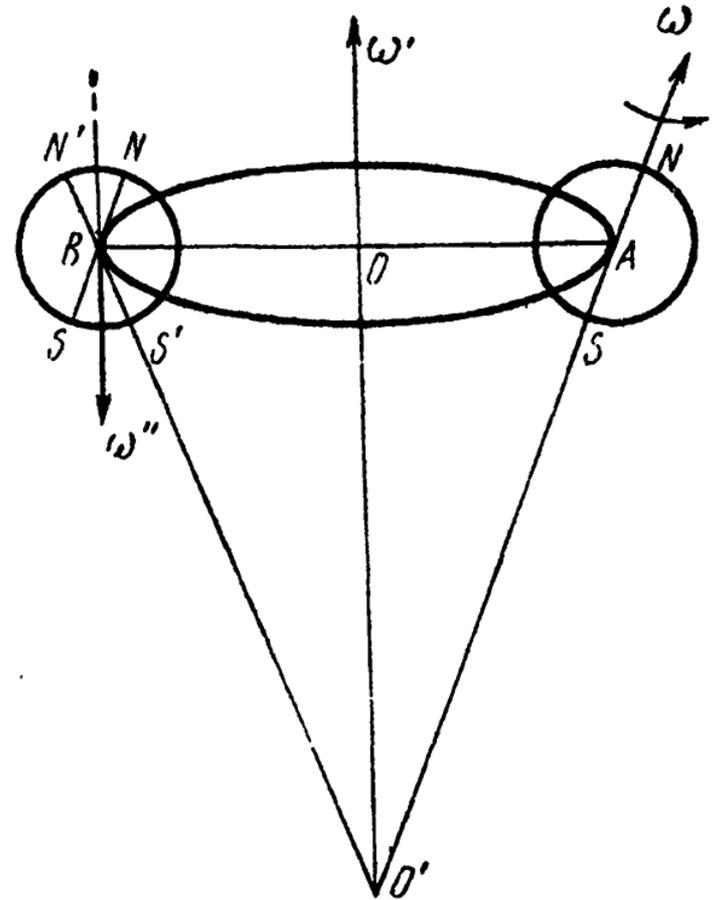


Схема движения Земли (по Копернику).

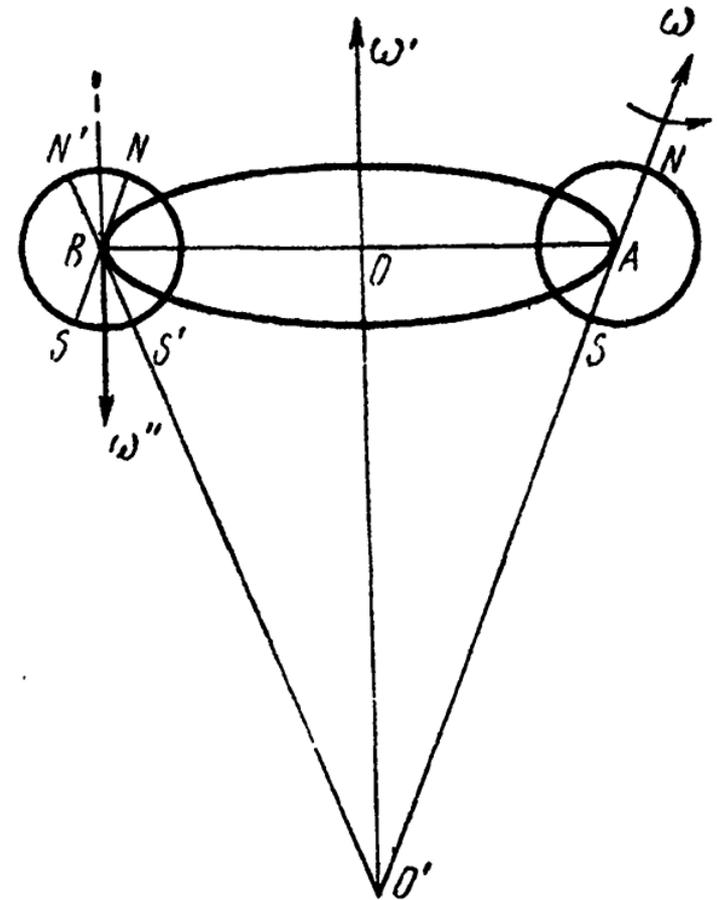
Три вращения. Объяснение прецессии равноденствий

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.

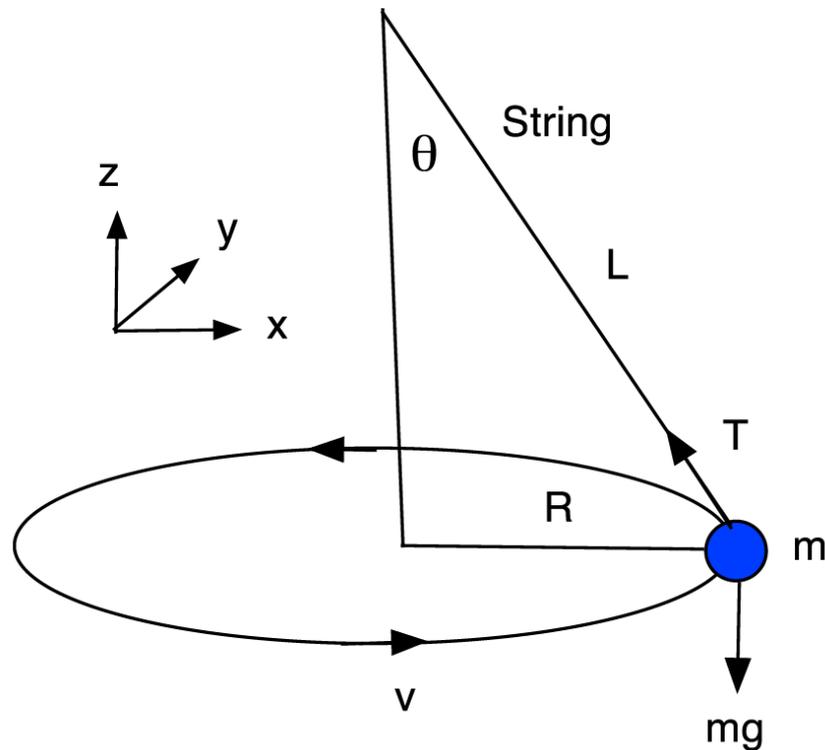
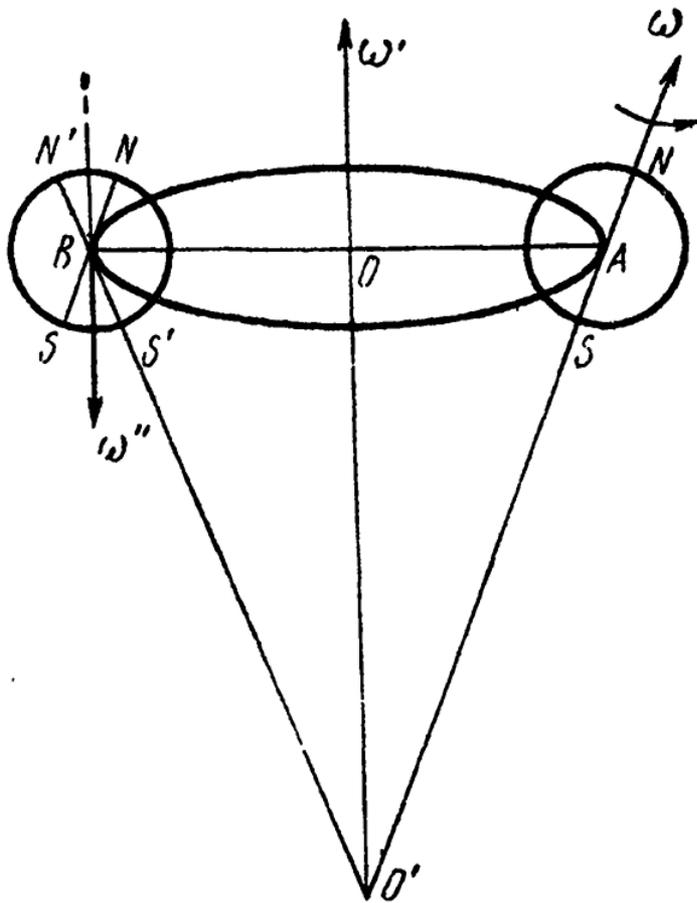
Описанное построение Коперник использовал для объяснения прецессии:

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.

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.

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?