История и методология механики

Лекция № 5

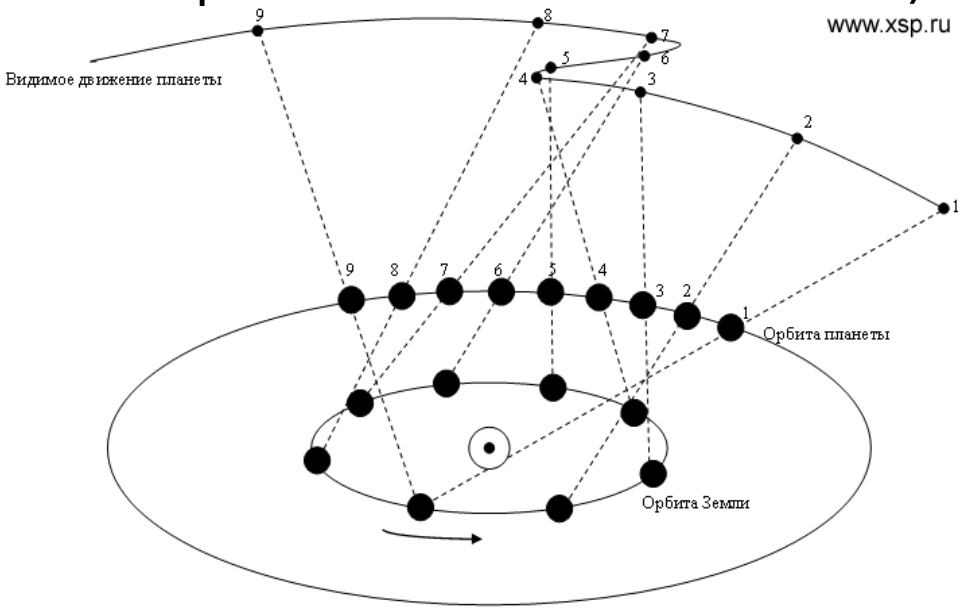
Чиненова Вера Николаевна
v.chinenova@yandex.ru

План лекции

1. Небесная механика Тихо Браге
2. Жизнь и творчество И. Кеплера
3. Физические основы теории Кеплера. Понятие инерции
4. Законы И. Кеплера движения небесных тел
5. «Рудольфинские таблицы» И. Кеплера

Ретроградное движение планет (на примере Марса)

Марс – планета, траектория которой имеет самый большой эксцентриситет (траектория отличается от окружности в большей степени, нежели орбиты остальных планет).



Требования к планетарной модели (Платон)

Платон формулирует принцип кругового, равномерного, постоянного и правильного движения небесных тел:

Всякое небесное движение описывается совокупностью простейших движений, состоящих из перемещений по окружностям в одном и том же направлении с постоянной скоростью.

Постулаты небесной механики Платона:

1) Траекториями движений являются окружности

2) Перемещения по этим окружностям осуществляются с постоянной
скоростью.

В кинематических моделях небесное движение сводится к кинематико- геометрическим построениям (без соотнесения с понятием силы). Законченную форму кинематический подход приобрел в "Альмагесте" Птолемея (II в. н.э.).

Реализован в двух основных вариантах:

-теория деферентов и эпициклов и

-теория кругового движения с эксцентрикой

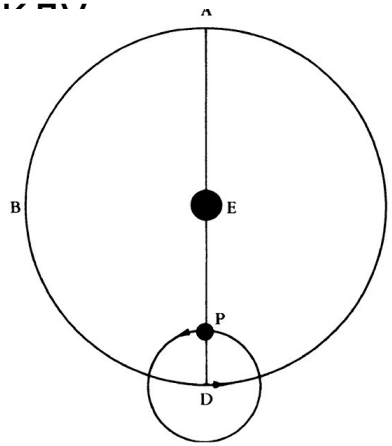
(центр вращения не совпадает с Землей).

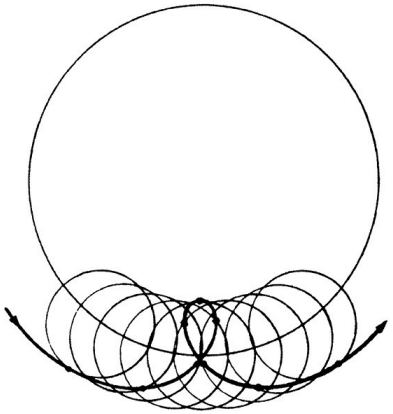
Кинематический подход не претендовал на выражение истинного движения планет, т.е. не предполагал согласования физики с геометрией. Кинематические теории претендовали лишь на практическое удобство предсказания

Теория Коперника, несмотря на революционность, базировалась на кинематическом подходе: для описания движения планет вокруг Солнца использовались *эпициклы и круговые вращения с эксцентрикой.*

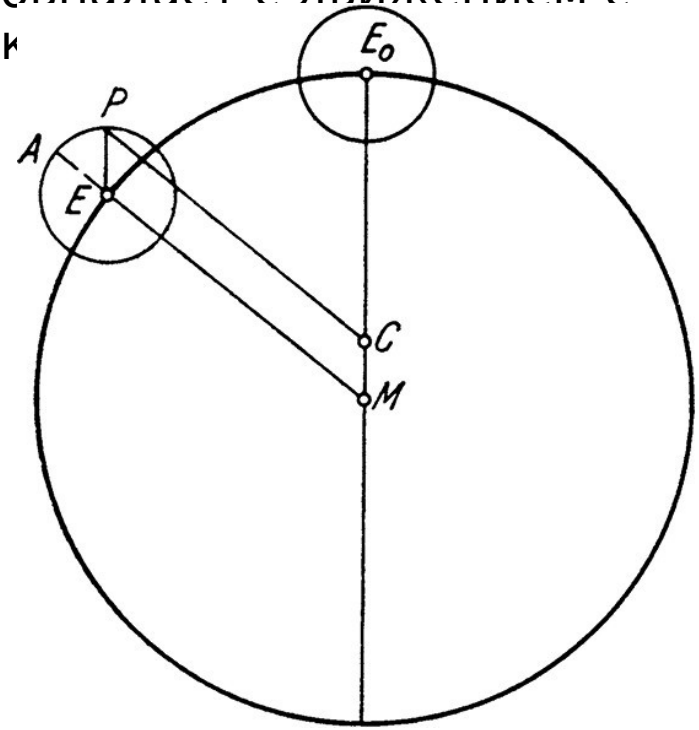
«Спасение феноменов» в кинематической модели Птолемея Деференты, эпициклы, эксцентрики. Эквивалентность двух кинематических теорий (эпициклов и эксцентриков)

Совокупное движение планеты по деференту и эпициклу





Если эпицикл *E* обращается с той же
угловой скоростью, что и деферент *M*, но в противоположном направлении, то совокупное движение совпадает с движением с эк



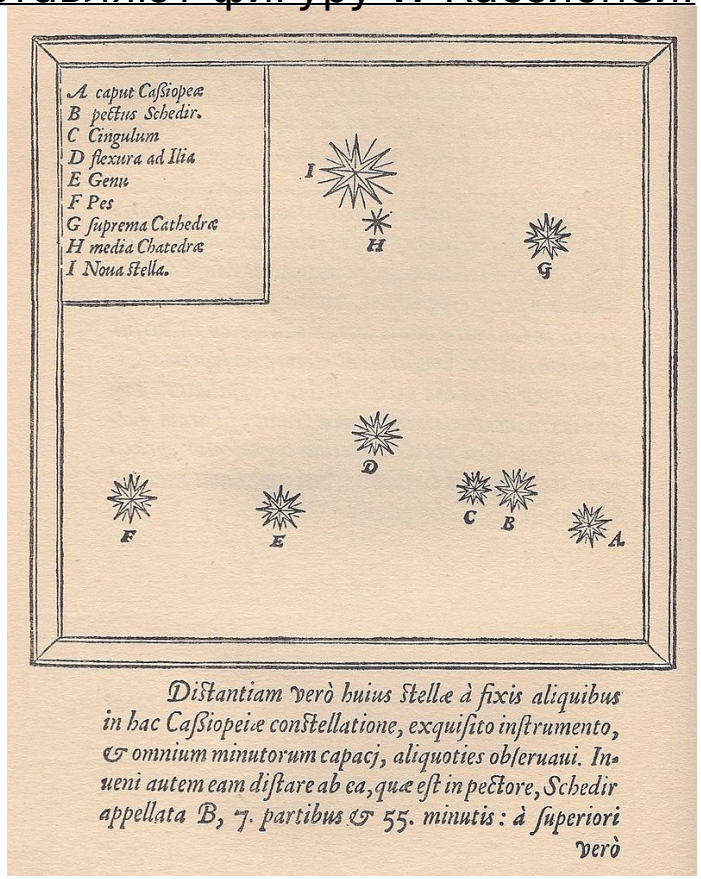
Небесная механика Тихо Браге

Тихо Браге (1546-1601)



_Сверхновая Тихо Браге 1572

(рисунок из книги Тихо Браге). Буквой I обозначена сверхновая, звезды F, E, D, B, G составляют фигуру W Кассиопеи.



Diſtantiam verò huius ſtellæ à fixis aliquibus in hac Caſsiopeiæ conſtellatione, exquiſito inſtrumento, & omnium minutorum capaci, aliquoties obſeruaui. Inueni autem eam diſtare ab ea, quæ eſt in pectore, Schedir appellata B, 7. partibus & 55. minutis: à ſuperiori verò

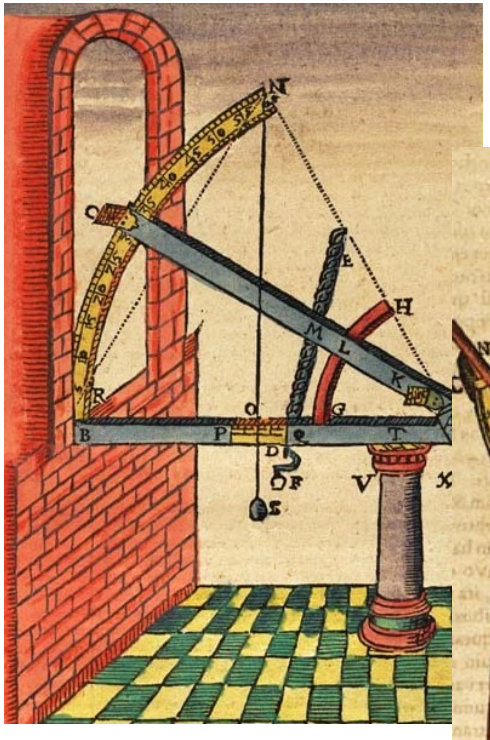
Обсерватория Браге «Ураниборг **— храм астрономии»**

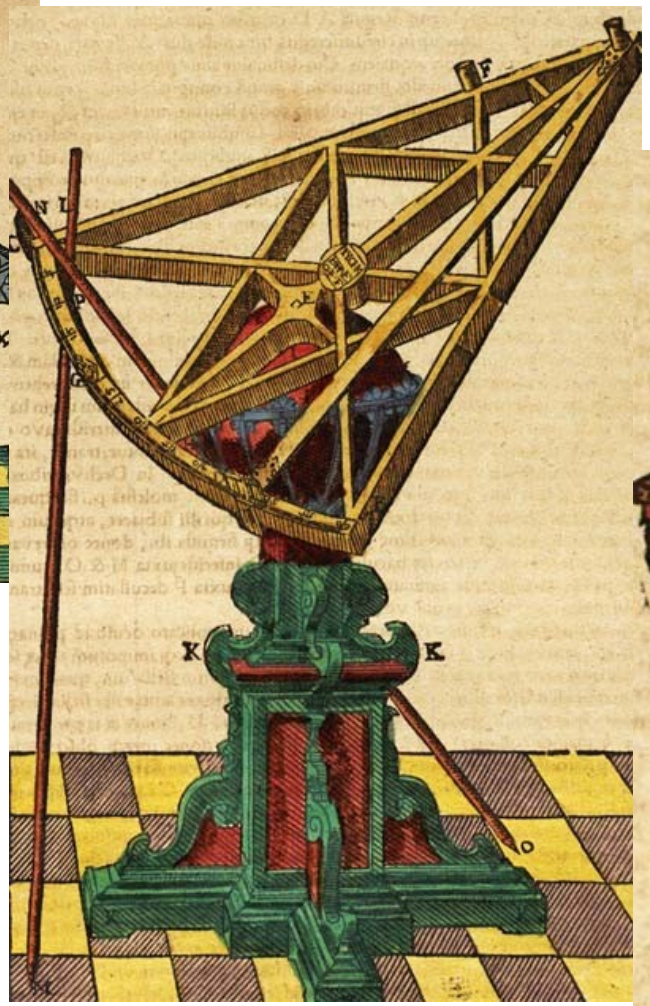


Квадрант Тихо Браге. В центре изображён сам Браге.



- **Некоторые астрономические инструменты Тихо** Браге:







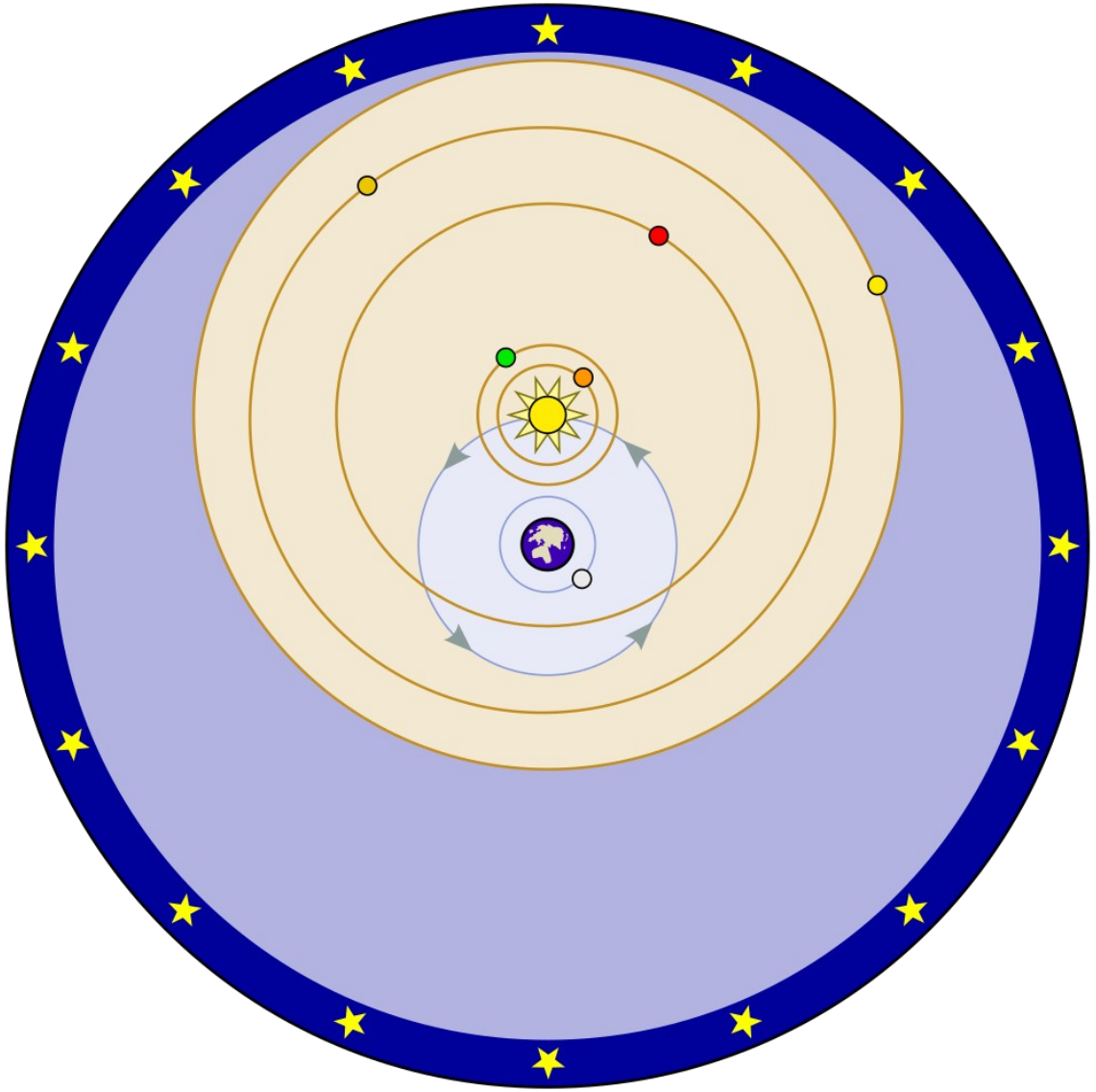
Гео-гелиоцентрическая система Тихо Браге (1546-1601).
Первая компромиссная попытка согласовать физический подход с кинематическим

«Приготовление к обновленной астрономии» (1582 г.)

Свою систему Браге противопоставляет системам Птолемея и Коперника:

«Эта тяжелая масса Земли, столь нерасположенная к движению, не может быть приведена в движение и перемещена без противоречия с принципами физики. Этому положению противостоит также авторитет Священного Писания… Моим намерением было серьезно исследовать, существует ли какая-нибудь гипотеза, полностью согласующаяся с явлениями и математическими принципами, которая не противоречила бы физике и не вызывала нареканий со стороны теологии. Мне удалось получить то, на что я надеялся …»

Система мира Тихо Браге



Гео-гелиоцентрическая система (описание Тихо Браге)

«Я твердо и безоговорочно верю в то, что неподвижную Землю следует поместить в центр Мира, в соответствии с мнением древних астрономов и физиков, а также свидетельством Св. Писания.

Вместе с тем, я никоим образом не согласен с Птолемеем и древними в том, что Земля – это центр вспомогательных орбит (для эпициклов).

Я скорее верю в то, что небесные движения устроены таким образом, что только Луна, Солнце и Восьмая Сфера – самая удаленная из всех – имеют Землю центром своего движения. Пять других планет вращаются вокруг Солнца, как вокруг своего Главы и Царя;

при этом Солнце всегда находится в центре их сфер, сопровождая планеты своим годовым движением. Таким образом, Солнце определяет законы и цели всех оборотов планет и, подобно Аполлону среди муз, оно одно ответственно за небесную гармонию окружающих его движений».

У Коперника планеты вращаются вокруг Солнца по орбитам с эксцентрикой. Солнце физически никак не участвует в определении характера их движений.

Небесная система Тихо Браге (1546-1601)

Значение работ Тихо Браге для астрономии:

1.Колоссальный объем и высокая точность проделанных Тихо Браге наблюдений, ставших основной для формулировки законов Кеплера.

2.Создание смешанной гео-гелиоцентрической системы мира, в которой Солнце вращается вокруг Земли, а остальные планеты вокруг Солнца.

3.Отказ от модели твердых небесных сфер.

Тихо Браге отвергал систему Птолемея из-за ее сложности (чрезмерное умножение числа эпициклов).

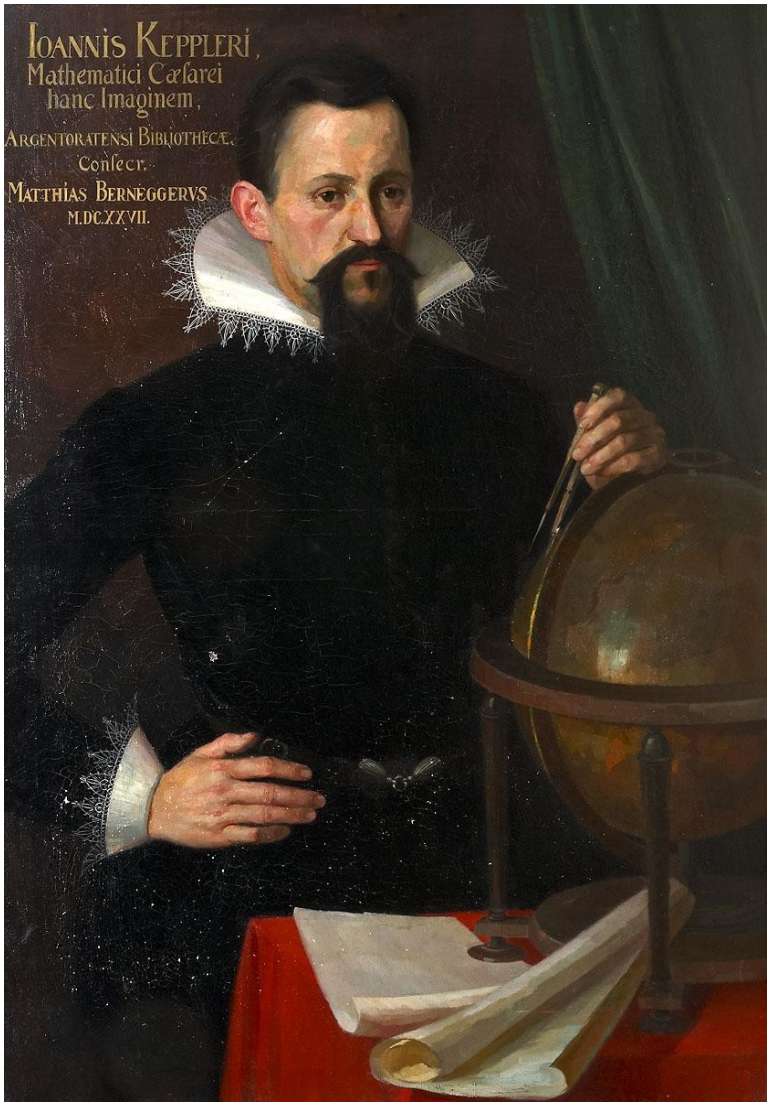
Систему Коперника он не принимал, в основном, из религиозных соображений.

Тихо Браге об (относительном) превосходстве системы Коперника над системой Птолемея:

«Я признаю, что вращение пяти планет, которое древние объясняли при помощи эпициклов, легко и с небольшими затратами объясняется простым движением Земли, что Коперник отбросил многие нелепости и противоречия, разделявшиеся прежде, и что при этом его система несколько точнее согласуется с небесными явлениями».

Жизнь и творчество И. Кеплера

Иога́нн Ке́плер (нем. *Johannes Kepler*; 27 декабря 1571 года, Вайль-дер-Штадт — 15 ноября 1630 года, Регенсбург)



Иоганн Кеплер (1571 – 1630)

1589 – Кеплер окончил монастырскую школу, проявив выдающиеся способности. Городские власти назначили ему стипендию для помощи в дальнейшем обучении.

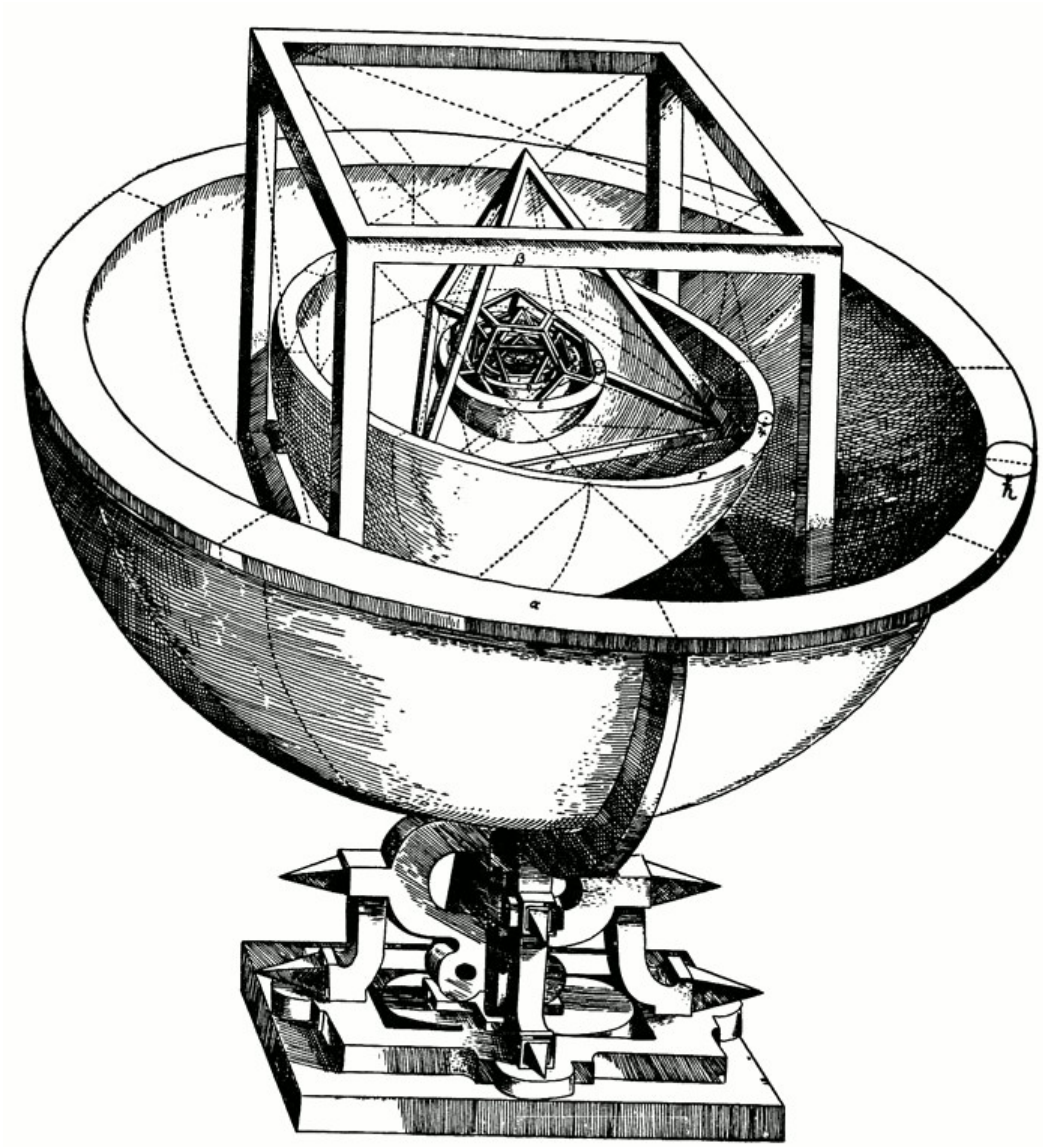
1591 – поступил в университет г. Тюбинген — сначала на факультет свободных искусств, к которым тогда причисляли и математику с астрономией, затем перешёл на теологический факультет. Первоначально Кеплер планировал стать священником. В Университете впервые услышал (от своего учителя М. Местлина) о теории Коперника и стал её убежденным сторонником.

1594 – благодаря незаурядным математическим способностям был приглашен читать лекции по математике в университет города Граца (Австрия). В Граце Кеплер провёл 6 лет.

1596 – вышла в свет его первая книга **«Космографическая тайна».**

В этой книге Кеплер, веривший в наличие в мире скрытой математической гармонии, построил гелиоцентрическую систему, основанную на 5 платоновых телах.

«**Кубок Кеплера»: модель** Солнечной системы **из пяти** платоновых тел .



Тихо Браге и Иоганн Кеплер

•**В 1600 году** Кеплер и Браге встретились в Праге. Оба на службе у императора Рудольфа II. Проведённые здесь 10 лет — самый плодотворный период жизни Кеплера.

•Взгляды Коперника и Кеплера на астрономию Тихо Браге разделял только отчасти. Чтобы сохранить геоцентризм, Браге предложил компромиссную модель. Эта теория получила большую известность и в течение нескольких десятилетий являлась основным конкурентом системы мира Коперника.

•Будучи великолепным наблюдателем, Тихо Браге за много лет составил объёмный *труд по наблюдению планет и сотен звезд, причём точность его измерений была существенно выше, чем у всех предшественников. Для повышения точности Браге применял как технические усовершенствования, так и специальную методику нейтрализации погрешностей наблюдения.*

•После смерти Браге в 1601 году Кеплер стал его преемником в должности. Казна императора из-за нескончаемых войн была постоянно пуста, жалованье Кеплеру платили редко и скудно. Он вынужден был подрабатывать составлением гороскопов.

Иоганн Кеплер (1571 – 1630)

1609 – публикация главной астрономической работы Кеплера **«Новая астрономия»**. В ней Кеплер сформулировал первые два из трех законов, носящих его имя.

Новая модель движения планет вызвала определенный интерес среди сторонников теории Коперника, но приняли ее очень немногие.

Галилей, например, на протяжении все своей жизни ни словом не обмолвился об эллиптических орбитах Кеплера (хотя был знаком с содержанием его работ).

1618-1621 – публикация второй важной работы **"Краткое изложение коперниканской астрономии"** (в трёх томах).

1619 – Публикация трактата **«Гармония мира»**, в которой сформулирован **3-ий закон** Кеплера.

Фрагмент из «Гармонии мира»:

«Я выяснил, что все небесные движения, как в их целом, так и во всех отдельных случаях, проникнуты общей гармонией, правда, не той, которой я предполагал, но ещё более совершенной».

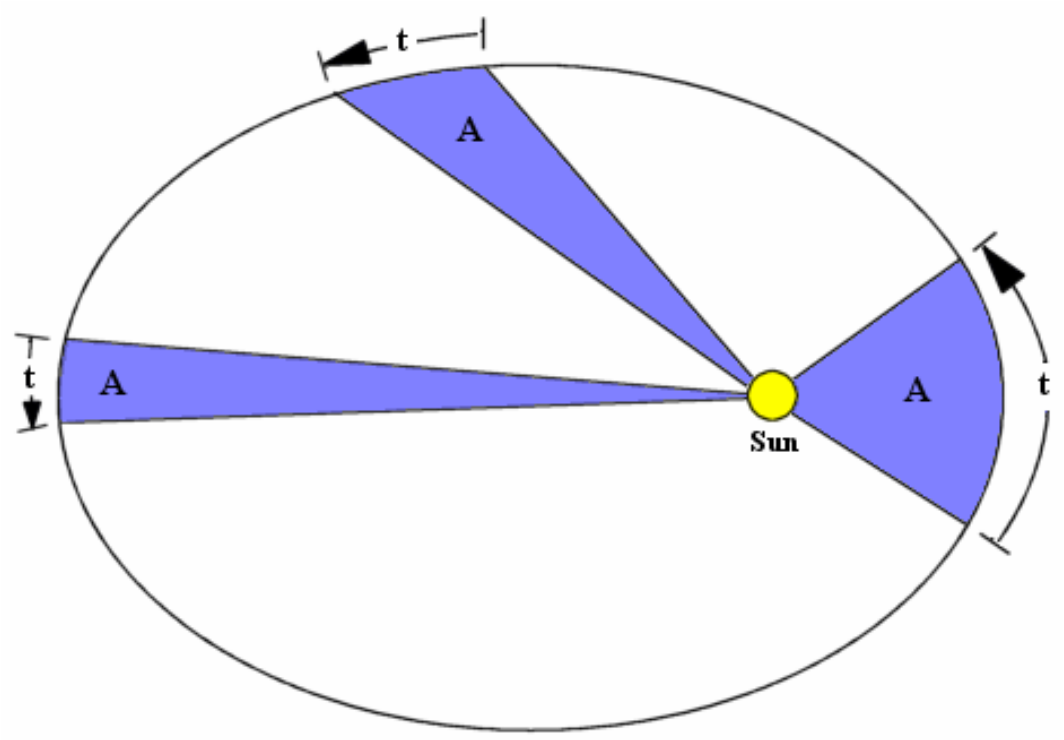
1630 – болезнь и смерть Кеплера.

Аналогично пифагорейцам, Кеплер считал мир реализацией некоторой **числовой гармонии**, одновременно геометрической и музыкальной; раскрытие структуры этой гармонии дало бы ответы на самые глубокие вопросы:
Я выяснил, что все небесные движения, как в их целом, так и во всех отдельных случаях, проникнуты общей гармонией, правда, не той, которой я предполагал, но ещё более совершенной.

Например, Кеплер объясняет, почему планет именно шесть (к тому времени были известны только шесть планет Солнечной системы) и они размещены в пространстве так, а не как-либо иначе: оказывается, орбиты планет вписаны в правильные многогранники.

Интересно, что исходя из этих ненаучных соображений, Кеплер предсказал существование двух спутников Марса и промежуточной планеты между Марсом и Юпитером.

Второй закон Кеплера: закрашенные площади равны и проходятся за одинаковое время



Открытые Кеплером три закона движения планет полностью и с превосходной точностью объяснили видимую неравномерность этих движений. Вместо многочисленных надуманных эпициклов модель Кеплера включает только одну кривую — эллипс. Второй закон установил, как меняется скорость планеты при удалении или приближении к Солнцу, а третий позволяет рассчитать эту скорость и период обращения вокруг Солнца.

Хотя исторически кеплеровская система мира основана на модели Коперника, фактически у них очень мало общего (только суточное вращение Земли). Исчезли круговые движения сфер, несущих на себе планеты, появилось понятие планетной орбиты.
В системе Коперника Земля всё ещё занимала несколько особое положение, поскольку центром мира Коперник объявил центр земной орбиты.
У Кеплера Земля — рядовая планета, движение которой подчинено общим трём законам. Все орбиты небесных тел — эллипсы (*движение по* гиперболической *траектории открыл позднее* Ньютон), общим фокусом орбит является Солнце.

Летом 1627 года Кеплер после 22 лет трудов опубликовал (за свой счёт) астрономические таблицы, которые в честь императора назвал «Рудольфовыми». Спрос на них был огромен, так как все прежние таблицы давно разошлись с наблюдениями. Немаловажно, что труд впервые включал удобные для расчётов таблицы логарифмов. Кеплеровы таблицы служили астрономам и морякам вплоть до начала XIX века.

Через год после смерти Кеплера Гассенди наблюдал предсказанное им прохождение Меркурия по диску Солнца.
В 1665 году итальянский физик и астроном Джованни Альфонсо Борелли опубликовал книгу, где законы Кеплера подтверждаются для открытых Галилеем спутников Юпитера.

Именно Кеплер ввёл в физику термин инерция как прирождённое свойство тел сопротивляться приложенной внешней силе.

Заодно он, как и Галилей, формулирует в ясном виде первый закон механики: всякое тело, на которое не действуют иные тела, находится в покое или совершает равномерное прямолинейное движение

Кеплер вплотную подошёл к открытию закона тяготения, хотя и не пытался выразить его математически.

Он писал в книге **«Новая астрономия»,** что в природе существует «взаимное телесное стремление сходных (родственных) тел к единству или соединению». Источником этой силы, по его мнению, является магнетизм в сочетании с вращением Солнца и планет вокруг своей оси.

В другой книге Кеплер уточнил:

Гравитацию я определяю как силу, подобную магнетизму — взаимному притяжению. Сила притяжения тем больше, чем оба тела ближе одно к другому.

Отношение Кеплера к астрологии было двойственным. С одной стороны, он допускал, что земное и небесное находятся в некоем гармоничном единстве и взаимосвязи. С другой — скептически оценивал возможность использовать эту гармонию для предсказания конкретных событий.
Кеплер говорил: «*Люди ошибаются, думая, что от небесных светил зависят земные дела*»
Широко известно также другое его откровенное высказывание:

“*Конечно, эта астрология глупая дочка; но, Боже мой, куда бы делась её мать, высокомудрая астрономия, если бы у неё не было глупенькой дочки! Свет ведь ещё гораздо глупее и так глуп, что для пользы этой старой разумной матери глупая дочь должна болтать и лгать. И жалованье математиков так ничтожно, что мать наверное бы голодала, если бы дочь ничего не зарабатывала*”.

Законы Кеплера

А. Эйнштейн о Кеплере:

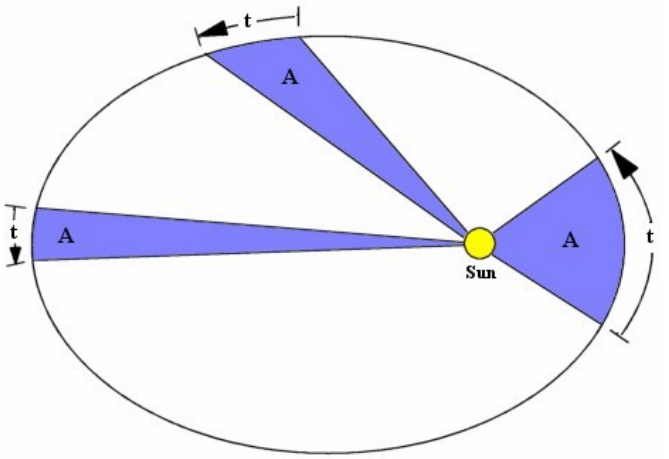
«Он жил в эпоху, когда ещё не было уверенности в существовании некоторой общей закономерности для всех явлений природы. Какой глубокой была у него вера в такую закономерность, если, работая в одиночестве, никем не
поддерживаемый и не понятый, он на протяжении многих десятков лет черпал в ней силы для трудного и кропотливого эмпирического исследования движения планет и математических законов этого движения!

Сейчас, когда эти законы уже установлены, трудно себе представить, сколько изобретательности, воображения и неустанного, упорного труда потребовалось, чтобы установить эти законы и со столь огромной точностью выразить их».

Три закона Кеплера

1-ый закон: Планеты движется по эллипсам, в одном из фокусов которых находится Солнце.

2-ой закон: За равные промежутки времени их "радиус-векторы" заметают равные площади.



Перигелий – ближайшая к Солнцу точка орбиты; афелий – наиболее удалённая точка орбиты.

Из 2-го закона следует, что планеты движутся вокруг Солнца неравномерно: в перигелии их линейная скорость больше, чем в афелии. В январе Земля, находясь в перигелии, движется быстрее, а в июле, находясь в афелии, – медленнее.

3-ий закон: Квадраты периодов обращения планет вокруг Солнца относятся, как кубы больших полуосей их орбит.

«Рудольфинские таблицы»

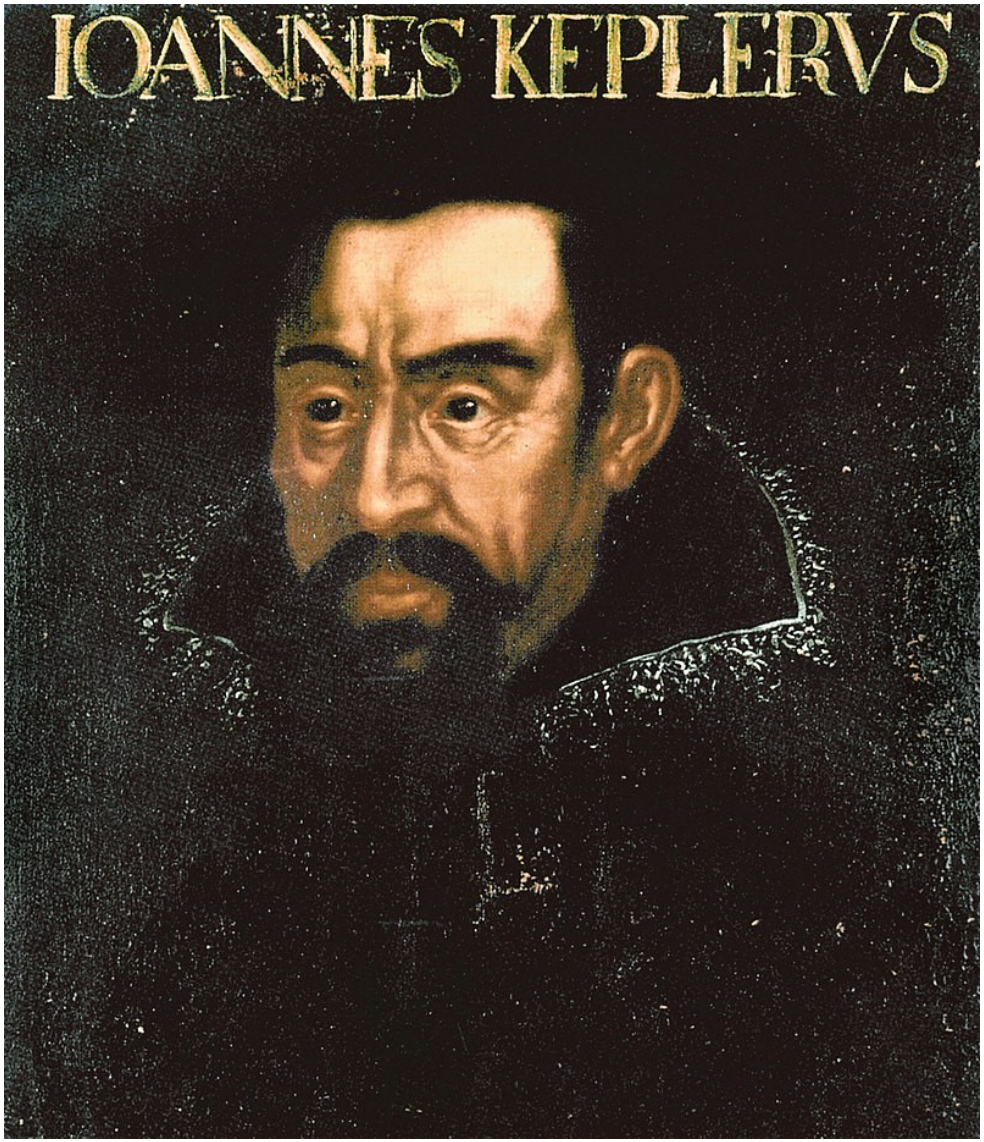
В 1627 году, после 22 лет трудов, Кеплер опубликовал (за свой счёт) астрономические таблицы, которые в честь своего покровителя и работодателя императора Рудольфа II назвал «**Рудольфинскими**».

Спрос на них был огромен, так как все прежние таблицы давно разошлись с наблюдениями.

Помимо прочего, труд впервые включал удобные для расчётов таблицы логарифмов.

Кеплеровы таблицы служили астрономам и морякам вплоть до начала XIX века.

«Я измерил небеса,
Землю теперь измеряю.
Дух воспарил в небеса.
Тело распалось прахом»



Памятник Кеплеру и Тихо Браге, Прага

