

# История и методология механики

Лекция № 6

Евгений Алексеевич Зайцев

[e\\_zaitsev@mail.ru](mailto:e_zaitsev@mail.ru)

## План лекции

Тема 1. Зарождение учения о движении (Аристотель).

Тема 2. Атомисты древности.

Тема 3. Элементы кинематики в астрономических трудах Аристарха, Птолемея, Бируни и др.

## **Тема 1. Зарождение учения о движении (Аристотель)**

## Аристотель о математике и ее применении в физике

Аристотель (384 – 321 гг. до н.э.)

Согласно Аристотелю, математика неприменима по отношению к **большинству** свойств природных вещей:

«...**математик** исследует отвлеченное ..., опуская все чувственно воспринимаемое, например **тяжесть** и легкость, ... **тепло** и холод и все остальные чувственно воспринимаемые противоположности, и оставляет **только количественное и непрерывное**, у одних – в одном измерении, у других – в двух, у третьих – в трех, и рассматривает свойства их, поскольку они количество и непрерывное, а не с какой-либо другой стороны...»

*Метафизика XI 3 1061a29 – 35*

Иными словами, на природные вещи математик смотрит только с точки зрения их пространственных параметров – линий, поверхностей и тел. Качественные характеристики вещей, к которым, в частности, относится тяжесть, теплота и др., строго говоря, лежат вне сферы количества. О них количество сказывается только несобственным образом (см. след. слайд).

Отсюда вытекают те ограничения, которые Аристотель накладывает на применение математики к описанию **движений** в природе.

## Аристотель о собственной и привходящей квантификации вещей и явлений

Согласно Аристотелю, **собственным образом** (непрерывное) количество сказывается только о четырех «вещах» – линиях, поверхностях, телах и времени. Все прочие количественные оценки или предикации носят несобственный (**привходящий**) характер.

«Количеством **в собственном смысле** называется только то, что указано выше (линии, поверхности, тела и время– *Е.З.*); все остальное называется так **привходящим образом**; так, белое называется **большим**, потому что поверхность большая, и **действие** – **продолжительным**, потому что оно совершается долгое **время**, и точно так же **движение** – **значительным**: каждое из них называется количеством не само по себе. Так, если кто-то указывает, сколь продолжительно **действие**, он определит его **временем**, указывая, что это действие длится год или что-то в этом роде ...» *Категории, VI 5a37 – b 7*

Хотя категория количества может быть в приписана движению и некоторым качествам – теплomu, тяжелому и быстрому (у которых есть противоположное свойство – холодное, легкое и медленное), она сказывается об этих «вещах» лишь несобственным (привходящим) образом. Математический анализ этих явлений не может выявить их сущность. Сущность движения и свойств может быть выявлена только посредством качественного анализа.

## Новое время: революция в оценке математических методов в естествознании

Сравните позицию Аристотеля с высказыванием И. Канта (1724-1804):

«Я утверждаю, что в каждом из отдельных учений о природе можно встретить лишь столько настоящей науки, сколько в нем встречается математики».

Иммануил Кант, *«Начальные метафизические основания естествознания»*  
(A VIII)

## Четыре вида движения (по Аристотелю)

1. Движение в категории **места** (или «движение по месту») – пространственное перемещение вещи. Оно может быть прямолинейным, круговым или смешанным.
2. Движение в категории **качества** – изменение качества вещи, его усиление и ослабление (в средние века использовались термины «интенсия» и «ремиссия» качеств).
3. Движение в категории **количества** – увеличение или уменьшение тел в размерах (например, рост живого организма).
4. Движение в категории **субстанции** – возникновение и уничтожение вещей (субстанциальное изменение).

Особая роль движения «по месту» заключается в том, что все прочие виды движения обязательно сопровождаются соответствующим пространственным перемещением. Движение «по месту» является, таким образом, необходимым условием осуществления других движений.

**Два фрагмента Аристотеля, в которых он, несмотря на методологический скепсис, использует математику (теорию пропорций) при описании движения**

*Первый фрагмент* посвящен анализу насильственного движения («Физика» VII, 5). В нем Аристотель использует количественные параметры для описания движения – величину расстояния, пройденного телом под действием силы, и величину затраченного при этом времени.

Пусть некоторый «двигатель» (сила)  $A$  действует на тяжелое тело  $B$ , перемещая его за время  $D$  на расстояние  $G$ . Аристотель пишет: «... результатом движения будет некое **количество** (т.е. расстояние), пройденное в [определенное] **количество** времени...».

Тогда

1. Сила  $A$  продвинет половину движимого тела  $B$  на расстояние  $2G$  за время  $D$  и на расстояние  $G$  за половину времени  $D$ .

2. Половина силы  $A$  продвинет половину тела  $B$  на расстояние  $G$  за время  $D$ . «Такова будет пропорция» (Аристотель).

Обобщая сказанное, получаем, что скорость движения ( $v$ ) прямо пропорциональна движущей силе ( $F$ ) и обратно пропорциональна силе сопротивления ( $R$ ), определяемой весом (разметами) тела. В современных символических обозначениях:

$$v \sim F \quad \text{и} \quad v \sim 1/R$$



# Трактовка фрагмента Аристотеля в средние века

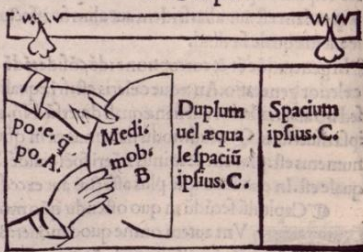
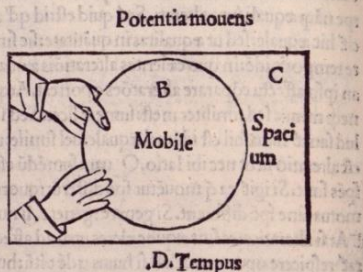
## Liber septimus Physicorum

uebit idē. B. totū. i. D. tpe: aut in eius aliqua parte per aliquam. C. spacii pte que rationem eandem ad totum habebit. C. quam. F. pars uel quauis alia ad totum. A. potentiam habet. Ommino enim si forte fuerit nullam partem mouebit. Non enim si tota uires quippiam per tantum mouerūt spacium: dimidium ipsage per quatumuis spacii quouis in tempore idem mouebit. Nam unus eam trahet profecto nauim: quā centum traxere si uires eorum tam in ipsorum numerum: q̄ in spacii diuidantur partes: q̄ nauim omnes simul traxere. Quapropter zenonis ratio non est uera: qua cōcludit quāuis partem mili facere sonum. Nihil enim prohibet: ut nullo in tempore eum moueat aere: quem totum modius mouit cum cecidisset. Neq; pars si per se fuerit id mouebit: quod una cum toto mouere potest neq; est enim pars ulla nisi potentia in toto.

38 C Si uero duo quaedam seorsum per tantum spacium tato in tempore duo seorsum pondera mouenti: & composita per longitudinem æqualem æqualiue in tempore compositum ex ponderibus utrisq; mouebunt. Est enim in eis eadem ratio.

39 C Sunt ne igitur eadem & in alteratio ne atq; accretioe. Est enim aliquid id quod auget: & id etiam quod augetur atq; in tempore tanto & tantū. aliud auget: aliud augetur. Et id quod alterat: & quod alterat similiter est aliquid & tantū intensioe remissionue est alteratum: & i tempore tanto. In duplo duplum: & duplum in duplo. Dimidium autem in dimidio temporis aut in dimidio dimidium: aut in æquali duplum. Si uero id quod alterat aut auget: tantum in tanto auget aut alterat non necesse est & dimidium in dimi

Demonstratio ostēdēs q̄ si aliqua potētia mouet aliqd mobile p aliqd spaciu i aliquo tēpo re: medietatem illius mobilis mouebit eadē uel æqualis potētia per duplum spacium i eodem tempore: uel per idem spacium: in medietate temporis.



Demonstratio ostēdēs q̄ si aliq̄ potētia mouet aliqd mobile per aliqd spaciu i aliquo tpe. Dimidiata potētia: medietatē mobilis mouebit per idē spaciu in eodē tpe.

## Tractatus primus

dio & i dimidio dimidiū alterare uel augere. Sed nihil si forte fuerit alterabit uel augetur quemadmodū & in pondere.

Explicit liber septimus.

Incipit liber octauus philosophorū Aristotelis de primo motore: & primo moto: & primo mobili.

Tractatus primus in quo præmittit motū esse sempiternum.

Capitulum primum in quo ostendit secundum suā opinionē motus sempiternitatē.



Tortus ne aliqui est motus anteaq; non erat: rursusq; adeo corrūpit: ut nihil penitus moueat: an neq; factus ē neq; corrūpit sed sp erat: & sp erit. Atq; hoc hūc q̄ sūt i mortale ac ineffabile iest quasi sit uita quaedam is uniuersis q̄ natura cōstat. Motū igitur ois inquit esse: qui de natura aliqd dicunt: tū q̄a mūdū faciūt: tū q̄a cōtēplatio ipsi ois ē de gnatioe corruptioe: quā iposibile est eē: si nō sit motus: uerū q̄ mūdōs infinitos eē: & alios ipso forū fieri: alios corrūpi dicūt: i motū inquit semp eē. Sint enī gnatioes & corruptiones ipsorū: cū motu necesse est. Q uo uero mūdū aut unū & sp eū dē eē dicūt: aut unū quidē sed non semp: i de motu quoq; similiter opinantur.

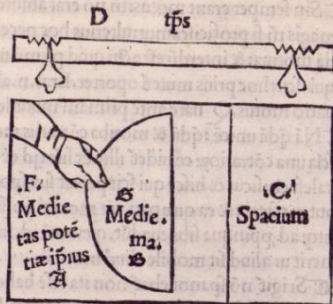
3 C Si igitur cōtingit aliqui nihil moueri dupliciter: id accidere necesse est. Aut. n. ut Anaxagoras censet. Dicit enim cū oia simul essent atq; quiescerent: tpe infinito mentem mouisse ac segregasse. Aut ut Empedocles dicit interdū res moueri: interdū quiescere. Moueri quidē: cū aut unū ex multis cōcordia: aut ex uno multa discordia facit. Quiescere uero in hūc tpe quæ inter hæc media cadūt. Dicit enim hoc mō. Nā quo de multis nasci cōsueuerit unū. Atq; iterū ex uno gnatio plura renasci. Hoc sūt: fixūq; sibi nō pmāet aū: At quo mutātur nunq̄ cessante recurū. Hoc sic ppetuo stabilem uersantur in orbem. Cū enim dicit. At quo mutāt nūq̄ cessante recurū: id empedoclem arbitrandum est intellegere: hīc in quā illuc & illinc huc fieri motum.

3 C Considerandū est igitur de hoc quonā mō se habet. Est enim opere p̄ciū hanc perspicere ueritatē: & non solum ad naturalem cōtēplatiōem sed & ad eam doctrinā quæ circa principium primum uersatur uehementer concludit.

4 C Ex his autem ordiemur: quæ prius a nobis in libris naturalis scientiæ sunt definita. Dimidius itaq; motū ipsius mobilis hoc actum esse: quo mobile est: necesse est ergo res ens esse: quæ uno quoq; motu moueri possunt & sine definitione etiam motus quouis profecto fatēbitur necessarium esse id moueri quod singulis motibus moueri potest: ceu alterari quidem id quod est alterabile: ferri autem id quod loco mutabile est. Quare sit antea cōbustibile q̄ cūburatur: & cōbustiuum antea q̄ cōburatur oportet.

5 C Igitur & hæc ipsa necesse est aut si non erant aliquando facta esse: aut perpetua esse.

6 C Si igitur unum quodq; mobilium ac motiuorū est factum: necesse est ante motum ac ceptum aliam mutationem motumq; fuisse. Quo quidem ortum id est: quod aut mo



## Ограниченный характер применимости математического закона пропорциональности в аристотелевской динамике

Продолжение фрагмента

«Неверно, что при уменьшении двигателя (т.е. движущей силы) наполовину происходит удвоение времени движения, ибо «может случиться, что **никакого** движения не будет. Ведь из того, что целая сила продвинула [тело] на определенную длину, не следует, что половина силы продвинет [это же тело] на сколько-нибудь в какое бы то ни было время; иначе один человек мог бы двигать судно, если только силу волочильщиков и длину, на которую они все двигали его, разделить на их число».

(В русском переводе стоит «силу гребцов и длину....». Но это ошибка переводчика. Речь в этом фрагменте идет о вытаскивании тяжелой триеры силами волочильщиков – бурлаков).

Иными словами, закон пропорциональности ( $v \sim F$ ) не действует в направлении уменьшения силы:

Если приложенная сила равна  $F/2$ , то отсюда не следует, что скорость движения будет равна  $v/2$ .

Аналогично, из кратного увеличения силы сопротивления не следует кратное уменьшение скорости (в данном фрагменте соответствующего рассуждения нет).

**Второй фрагмента Аристотеля, в которых он использует математику при описании движения («О небе» III 2). Здесь речь идет о естественном движении. О невозможности падения тела, лишённого тяжести (рассуждение от противного)**

«Пусть **A** будет [тело], лишённое тяжести, **B** – [тело], имеющее тяжесть.

Допустим, что лишённое тяжести прошло расстояние **GD**, а **B** в равное время – расстояние **GE**, [которое будет больше], так как имеющее тяжесть пройдет большее расстояние. Стало быть, если тело, имеющее тяжесть, разделить в той же пропорции, в какой **GE** стоит к **GD** ..., то, раз все [тело] проходит все расстояние **GE**, [указанная] часть по необходимости должна проходить в равное время расстояние **GD**, откуда следует, что [тело], лишённое тяжести, и [тело], имеющее тяжесть, [в равное время] пройдут равное расстояние, а это невозможно». («О небе», III 2 300a 25 – 301b 1).

**Вывод:** Аристотель исходит из того, что скорость падения тела (**v**) прямо пропорциональна его тяжести (**F**):  $v \sim F$

В отличие от насильственного движения, всякое кратное изменение движущей силы, т.е. тяжести (**F**) – будь то увеличение, или уменьшение – ведет к соответствующему кратному изменению скорости падения (**v**). Каким бы малым весом ни обладало тело, оно все равно будет падать вниз.

В некоторых других фрагментах он прямо формулирует тезис о том, что при свободном падении скорость тела прямо пропорциональна его тяжести и обратно пропорциональна плотности среды.

# Аристотель о причине продолжения движения брошенного тела

## *Метафизические постулаты теории движения Аристотеля*

1. Всё, что движется, должно двигаться чем-то другим (кроме живых существ).
2. Движимое и двигатель должны находиться в непосредственном контакте.

Возникает вопрос: как возможно движение брошенного тела, которое в момент броска утрачивает контакт с «двигателем» - рукой или тетивой лука?

«А что касается перемещающихся [предметов], будет хорошо сначала разобрать одну трудность. Раз всякий движущийся [предмет], который не движет сам себя, приводится в движение чем-нибудь иным, то спрашивается: как некоторые [предметы] движутся непрерывно без соприкосновения с движущим, например [тела] брошенные? ...

[Ответ:] Необходимо ... сказать, что первое [движущее] может сообщить двигательную способность или обладающему такими свойствами воздуху, или воде, или чему-нибудь иному, что по природе способно двигать или находиться в движении».

(«Физика» VIII 10 266b 27 – 267a 20)

В этом фрагменте Аристотель придерживается тезиса о том, что силой, приводящей в движение брошенное тело (камень, стрела из лука), является среда – воздух или вода. Среда играет двойственную роль: она не только сопротивляется движению, но и активно поддерживает его.

## **«Брошенное тело движется воздухом»**

### **(подробности одной из теорий движения брошенного тела по Аристотелю)**

Основной «двигатель» (рука или тетива лука) приводит в движение ближайший к нему слой воздуха. Воздух при этом претерпевает действие внешней силы, т.е. находится в пассивном модусе. Одновременно он находится и в активном модусе, ибо двигатель, приведя воздух в движение, передает ему способность (силу, энергию) передвигать следующий прилегающий к нему слой воздуха, толкая его перед собой. Таким образом, приведенный в движение слой воздуха действует на другой, смежный с ним, тот – на третий и т.д. Образуется своего рода воздушная волна, которая толкает тело, заставляя его двигаться в направлении, заданном основным «двигателем».

При передаче движения от одного слоя воздуха к другому общее усилие ослабевает, так что в итоге воздух и движимое им тело останавливаются:

«[Движение] прекращается, когда у смежного тела способность движения становятся меньше и меньше: окончательно же прекращается, когда не будет действовать предыдущий двигатель, а только то, что было [им] приведено в движение; они необходимо останавливаются вместе: движущее, движимое и все движение».

## **Тема 2. Атомисты древности**

## **Аристотель о противоположности двух натурфилософских теорий, трактующих о непрерывности или дискретности мира.**

Аристотель:

«... в силу одних и тех же оснований и величина, и время, и движения слагаются из неделимых частей и делятся на них, или, наоборот, не слагаются и не делятся» («Физика» VI 1, 231b). «Вследствие непрерывности величины непрерывно и движение, а через движение и время» («Физика» IV 11, 219a).

Иными словами, по Аристотелю, есть две логически возможные теории, описывающие мир. Одна из них последовательно континуалистская, исходит из одновременной непрерывности величин, движения и времени. Это теория самого Аристотеля. Другая исходит из одновременной дискретности величин, движения и времени. Это теория древнегреческих атомистов.

Основные представители античного атомизма – Левкипп (V в. до н.э.), Демокрит (ок. 460 – ок. 370 до н. э.), Эпикур (341 –270 до н.э.).

## Учение атомистов

Рубенс. Демокрит – смеющийся философ (1603)



Мир состоит из атомов (неделимых частиц) и пустоты, в которой эти частицы постоянно движутся. Атомы различаются по форме и величине, но состоят из одного вещества. Причиной движения атомов, его первоначальной «силой» является устремление «подобного к подобному» (анимизм – представление об одушевленности природы).

«И животные соединяются в стаи с однородными животными, например, голуби с голубями, журавли с журавлями; то же наблюдается и у других животных. Так же обстоит и с неживой природой, что можно видеть при просеивании зерен и на камнях морского прибоя; в первом случае при сотрясении сита располагаются отдельно чечевица с чечевицей, ячмень с ячменем, пшеница с пшеницей; во втором случае, благодаря движению волн, продолговатые камешки отталкиваются в то же место, куда и другие продолговатые, круглые – куда круглые...» (Секст Эмпирик о концепции движения атомистов).

Атомы одной формы стремятся соединиться с себе подобными.



## Лукреций Кар «О природе вещей» (около 99 —55 до н.э.)

«Вот посмотри: всякий раз, когда солнечный свет проникает  
В наши жилища и мрак прорезает своими лучами,  
Множество маленьких тел в пустоте ты увидишь; мелькая,  
Мечутся взад и вперед, в лучистом сиянии света;  
Будто бы в вечной борьбе они бьются в сраженьях и битвах,  
В схватки бросаются вдруг по отрядам, не зная покоя,  
Или сходясь или врозь постоянно опять разлетаясь.  
Можешь из этого ты уяснить себе, как неустанно  
Первоначала вещей в пустоте необъятной мнутя.  
Так о великих вещах помогают составить понятие  
Малые вещи, пути намечая для их постижения».

Представление об атомах, неразличимых глазом вследствие малости, и их движении в пустоте можно, таким образом, получить, наблюдая за движением пылинок в солнечном свете.

## Лукреций Кар: О постоянстве скорости при движении атомов в пустоте

«... никогда никакую нигде не способна

Вещь задержать пустота и явиться какой-то опорой,

В силу природы своей постоянно всему уступая.

Должно поэтому всё, проносясь в пустоте без препятствий,

Равную скорость иметь, несмотря на различие в весе».

Атомистика древних греков была не только физической атомистикой, т.е. учением о природных движениях. В не меньшей степени она была способна объяснять сложнейшие физиологические явления, деятельность органов чувств и в конечном счете процессы человеческого познания. Учение о материальных «истечениях» позволяло свести зрение к непосредственному соприкосновению, «осязанию» далеких предметов.

В целом античный атомизм является разновидностью механицизма – учения, согласно которому устройство целой вещи или явления сводимо к комбинации ее частей и их движений. Подобно тому, как сложная машина может быть понята как совокупность своих движущихся частей, так и мир в целом предстает в виде грандиозной «машины». «Целое равно механической сумме своих частей»

Этот аспект античного атомизма оказал влияние на становление механистических философий Нового времени. Даже те мыслители XVII в., которые не были атомистами (Декарт), испытали влияние этой идеи.

Тема 3. Элементы кинематики в астрономических трудах  
Аристарха, Птолемея, Бируни и др.

## Платон. Требования к планетарной модели

Симпликий (VI в. н.э.):

«Платон формулирует принцип кругового, равномерного, постоянного и правильного\*) движения небесных тел.

Вслед за этим он ставит перед математиками такую проблему: какие круговые, равномерные и совершенно правильные движения следует принять в качестве гипотез, чтобы можно было спасти видимые образы\*\*) движения планет?»

\*) осуществляющегося в одном направлении

\*\*) греч. феномены

Тезис Платона (расшифровка): **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:

(i) Траекториями движений являются окружности

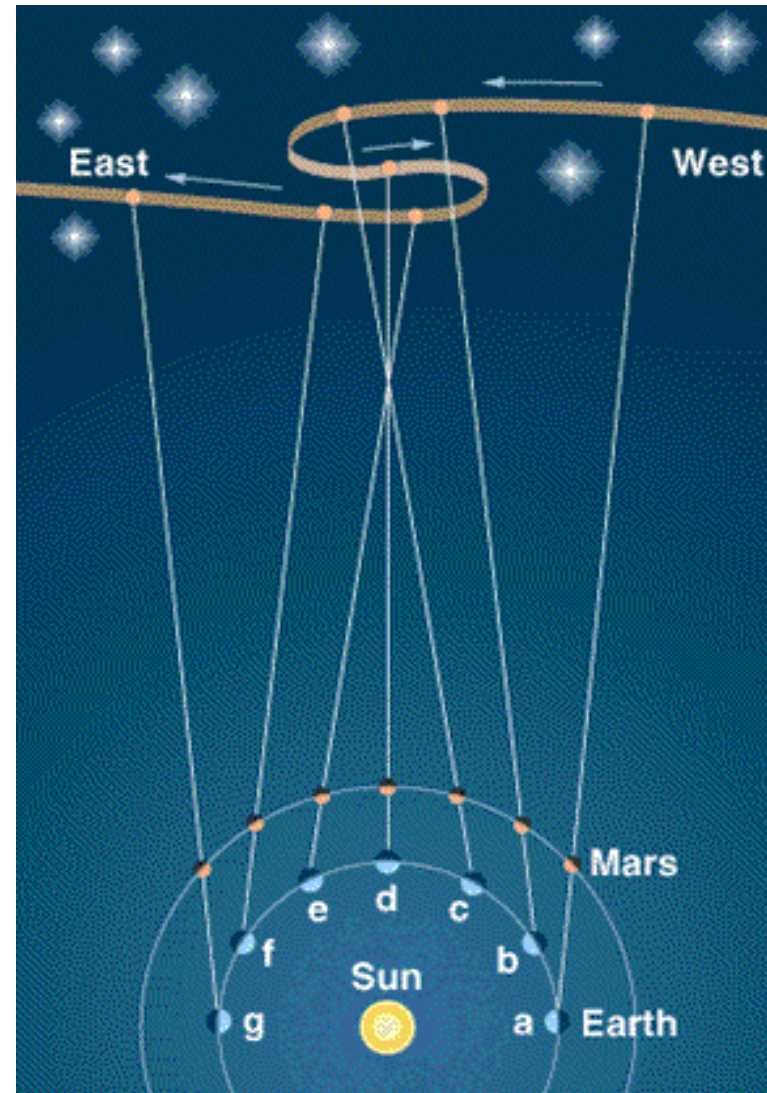
(ii) Перемещения по этим окружностям осуществляются с постоянной скоростью.

## 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).

Поэтому Марс имеет наиболее сложное ретроградное движение (если смотреть с Земли).

«Именно Марс хранил секрет всех планетных движений» (А. Кестлер).



## Две основные модели небесных движений Физическая (механическая) и кинематическая

### Физическая модель Евдокса (Аристотеля)

Трактовка небесного движения с физико-механической точки зрения ведет начало от модели Евдокса (Аристотеля).

Движения планет в этой модели определяются вращением концентрических сфер, к которым они жестко прикреплены («как гвозди на ободе колеса»). Сами планетные сферы состоят из прозрачной и твердой материи. Общим центром вращения сфер является Земля.

В основе модели лежит теория, в соответствии с которой движение сфер происходит под действием реальных сил. Эти силы имеют одушевленный характер.

Модель Евдокса (Аристотеля) отличается большой сложностью. Для объяснения движений всех 5 планет в ней требуется рассмотреть вращение 55 концентрических сфер вокруг осей с разными углами наклона.

Кроме того, она с трудом согласуется с наблюдениями.

# Физическая модель Евдокса-Аристотеля

Схема движения одной планеты

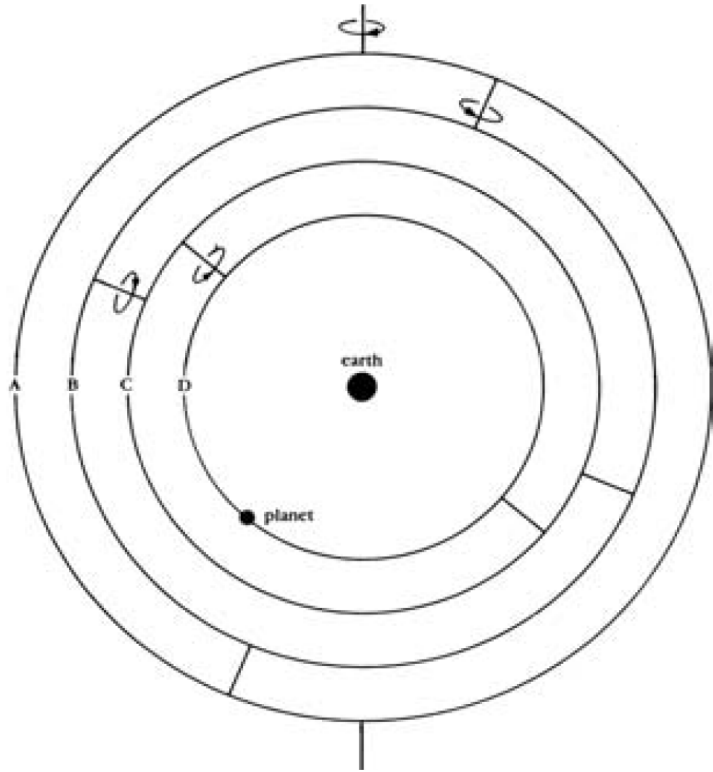
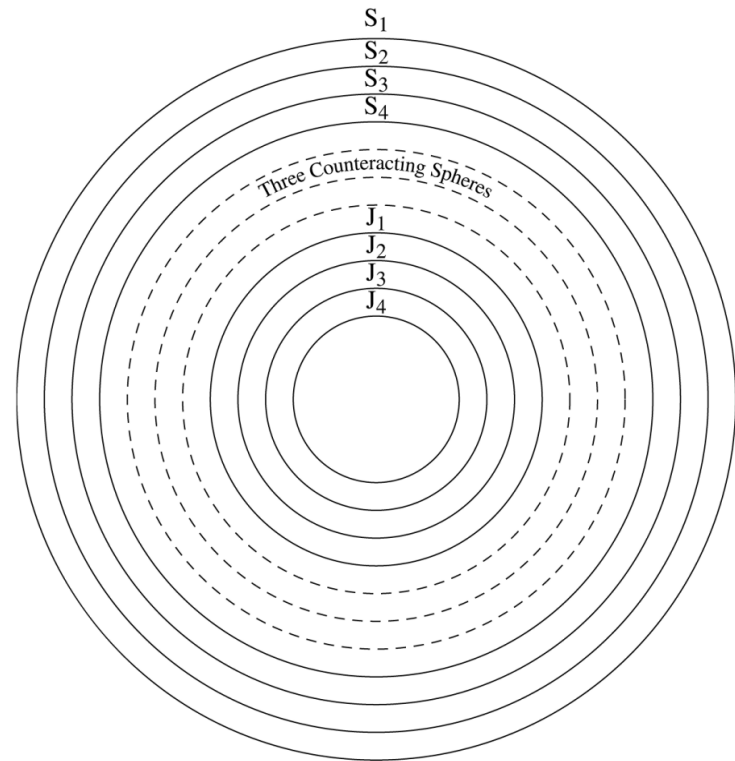
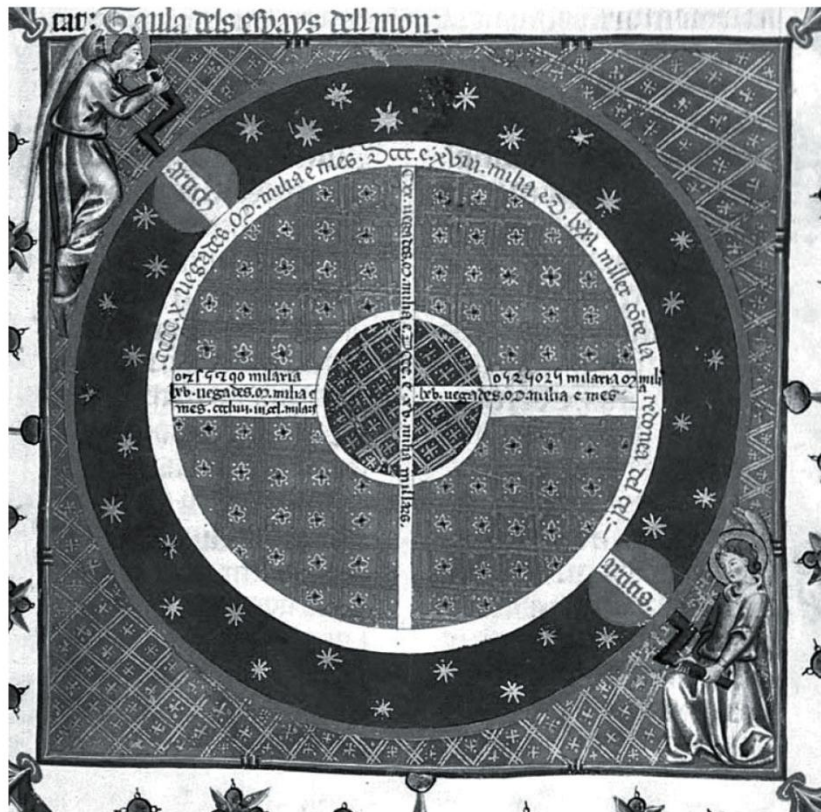


Схема движения двух соседних планет (Сатурн - Юпитер)



Механика движения небесных сфер в модели Аристотеля  
(Breviari d'Amor, XIII-XIV вв.) Внешний «двигатель» (источник движения).





## Кинематическая модель движения планет

### Теория Птолемея. «Спасение феноменов»

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 («спасение феноменов»)

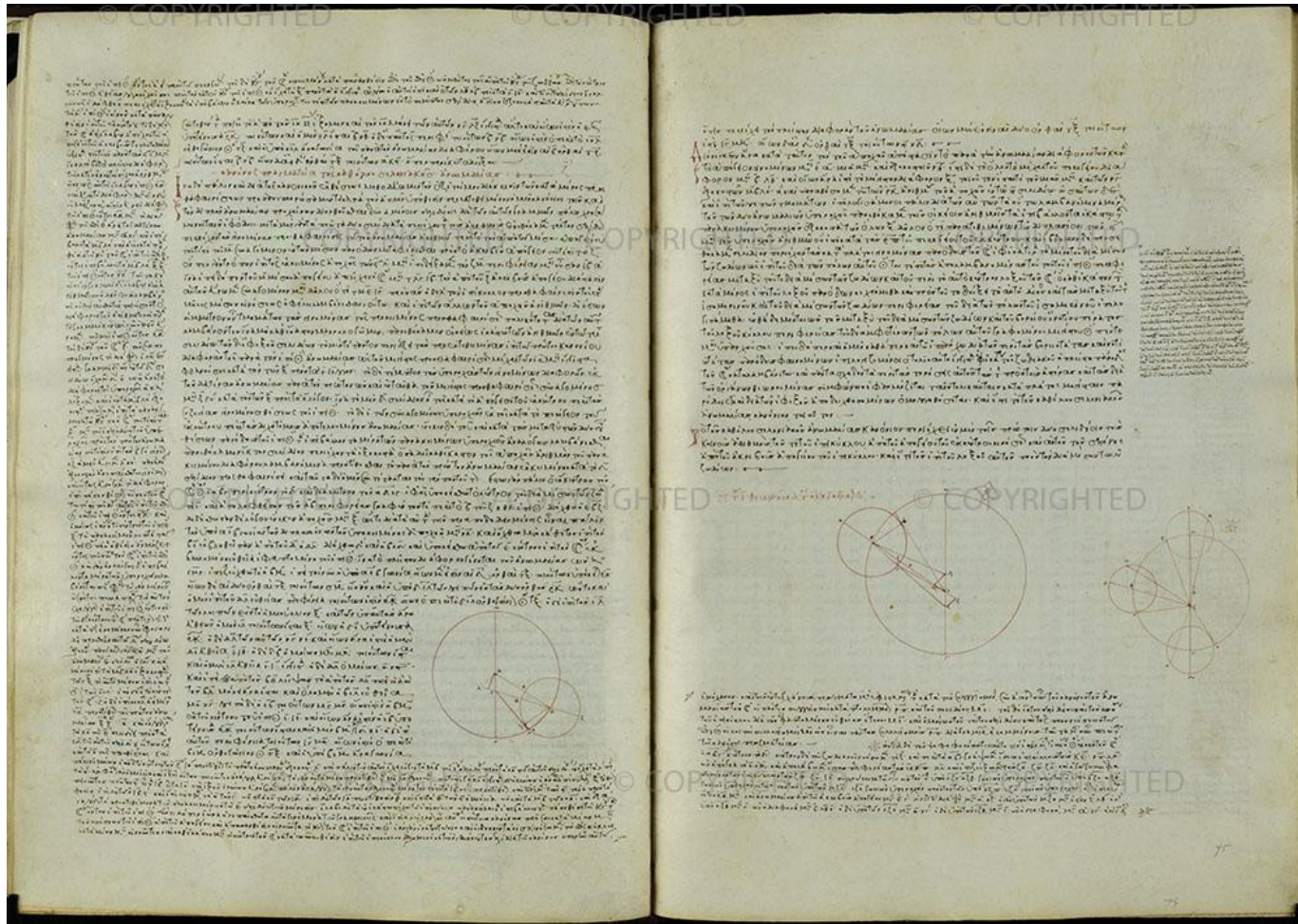
Теория Коперника, несмотря на революционность, базировалась на кинематическом подходе: для описания движения планет вокруг Солнца использовались эпициклы и круговые вращения с эксцентрикой.

Claudius Ptolemy (2nd century A.D.)

*Almagest*, early 14th century

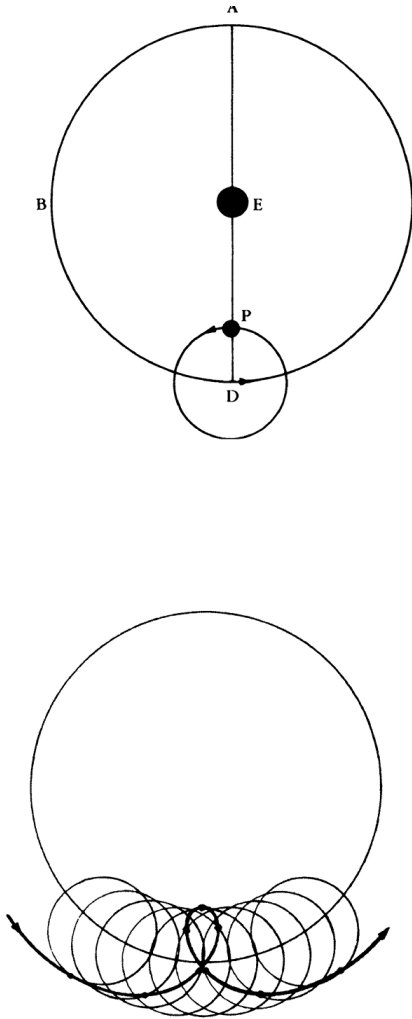
Florence, Biblioteca Medicea Laurenziana, Plut. 28.1, ff. 74v-75r

This work is a compendium of the geocentric systems of the world devised during the Hellenistic period. Epicycles and eccentrics are depicted on folios 74v-75r.

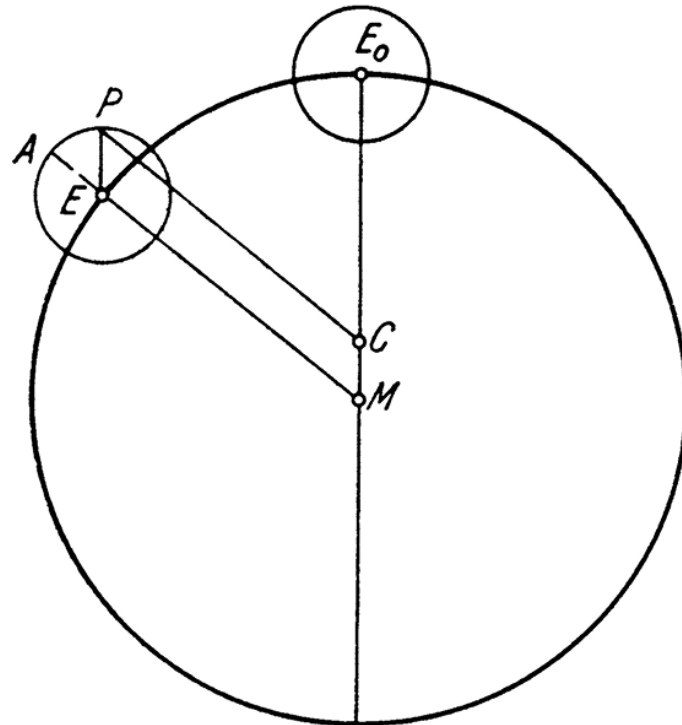


# Кинематическая модель Птолемея. Деференты, эпициклы, эксцентрики. Эквивалентность двух кинематических моделей (эпициклов и эксцентриков)

Составное 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 эксцентрикой в т.  $C$ .



## Аристарх Самосский (ок. 310-230 до н.э.)

1. По-видимому, являлся автором кинематической системы с эксцентрикой.

2. Основное сочинение «Об определении величин и расстояний Солнца, Луны и Земли».

3. Аристарх - создатель гелиоцентрической системы мира.

Аристарх Самосский.

«Об определении величин и расстояний Солнца, Луны и Земли»

«Так как лунные затмения происходят в то время, когда Земля находится на одной линии с Солнцем и Луной, то Луна попадает в тень, отбрасываемую Землей. Проведем конус общих касательных к сферам Солнца и Земли и определим, с какой стороны будет находиться вершина этого конуса. Зная продолжительность полного затмения, можно вычислить величину диаметра земной тени на расстоянии Луны; он оказывается меньше диаметра Земли. Это значит, что вершина конуса земной тени лежит в той же стороне от Земли, что и Луна; следовательно, диаметр Солнца больше диаметра Земли.

Это и было установлено Аристархом...; причем из текста можно установить, что ввремя его написания Аристарх придерживался еще геоцентрических воззрений. Но если диаметр Солнца больше диаметра Земли по Аристарху примерно в семь раз, то это значит, что объем Солнца в 343 раза больше объема Земли; тогда из двух возможных предположений— геоцентрической и гелиоцентрической системы — наиболее вероятным является второе, которое и было принято Аристархом».

И.Н. Веселовский, «Очерки по истории теоретической механики» М., 1974

(с. 47-48).

## Архимед о гелиоцентрической системе мира Аристарха Самосского

Архимед: «Как ты знаешь, большинство астрономов называют миром шар, центр которого совпадает с центром Земли, а радиус равен прямой, заключающейся между центрами Солнца и Земли; это ты узнал из написанных астрономами доказательств.

Но Аристарх Самосский выпустил в свет книгу о некоторых гипотезах, из которых следует, что мир гораздо больше, чем понимают обычно. Действительно, он предполагает, что неподвижные звезды и Солнце находятся в покое, а Земля обращается вокруг Солнца по окружности круга, расположенной посередине между Солнцем и неподвижными звездами, а сфера неподвижных звезд имеет тот же центр, что и у Солнца, и так велика, что круг, по которому, как он предположил, обращается Земля, так же относится к расстоянию неподвижных звезд, как центр сферы к ее поверхности». (иными словами, мир бесконечен)

Архимед «Исчисление песчинок» («Псаммит»)

Плутарх (ок. 100 н.э.) дает схожее описание гипотезы Аристарха, специально отмечая, что Земля при перемещении вдоль эклиптики вращается вокруг своей оси.

## Архимед о гелиоцентрической системе мира Аристарха Самосского (продолжение)

Но хорошо известно, что это невозможно; так как центр сферы не имеет никакой величины, то нельзя предполагать, чтобы он имел какое-нибудь отношение к поверхности сферы.

Надо поэтому думать, что Аристарх подразумевал следующее: поскольку мы предполагаем, что Земля является как бы центром мира, то Земля к тому, что мы назвали миром, будет иметь то же отношение, какое сфера, по которой, как думает Аристарх, обращается Земля, имеет к сфере неподвижных звезд; из таких предпосылок он объясняет наблюдающиеся явления и, по-видимому, считает, что величина сферы, по которой он заставляет двигаться Землю, и будет равна тому, что мы называем миром».

## **Аль-Бируни (973-1048)**

Главное сочинение Бируни по астрономии — «Канон Мас'уда по астрономии и звёздам».

Значение астрономии для ислама.

Позже сделаю подробный слайд на эту тему.



Третий подход к исследованию движения небесных тел – метафорический  
«Планеты на небе как птицы в воздухе (или рыбы в воде)»

«Возьмем птиц, которых мы видим, как пример движения тел, наблюдаемых на небе [...].

Когда птицы совершают одно из характерных для них движений, начало этого движения лежит в присущей им жизненной силе.

Эта жизненная сила порождает импульс, который затем распространяется в мышцы [...].

Таким же образом мы можем представить себе движение небесных тел.

**Мы можем полагать, что каждая планета обладает соответствующей жизненной силой и движется сама.**

[...] Движение переходит сначала к эпициклу, затем к эксцентрику, а затем к окружности с центром в середине вселенной».

Птолемей, «Планетарные гипотезы»

Роберт Беллармин (1542-1621), Лекции в университете Лувена (1572):

«...звезды (планеты) не движутся вместе с движениями неба, **они движутся сами по себе, как птицы в небе и рыбы в воде.** Ведь известно, что движение планет различно: одна [движется] быстрее, другая медленнее, и всем очевидно, что одно и то же небо не может двигаться одновременно с разными скоростями».

В XVI-XVII вв. сходной точки зрения придерживались ученые-иезуиты: Borro, Blancanus, Scheiner, Arriago.

И. Кеплер испытал влияние этой идеи. Он сравнивал движение планет с движением лодок в водном потоке, управляемых гребцами ....

Третий подход – метафорический  
«Планеты на небе как птицы в воздухе и рыбы в воде»

Объективное значение этого подхода для развития астрономии

1. Сравнение с «птицами в воздухе или рыбами в воде» позволяет объяснить разнообразие в поведении планет, которые движутся по различным траекториям с разными скоростями.
2. Метафора подчеркивает собственную активность планет.
3. Модель «как птицы в воздухе или рыбы в воде» предполагает, что небеса пронизаемы, т.е. небесные сферы состоят из «жидкой» и прозрачной материи, типа эфира.