*Реферат по истории механики*

Иоганн Кеплер

*Выполнил:*

*Детство и юность*

В двух десятках километров на запад от Штутгарта — главного города земли Баден-Вюртемберг (Германия), среди Живописных холмов невдалеке от лесистого Шварцвальда расположился небольшой провинциальный городок Вейль-дер-Штадт всего с шестью тысячами жителей. Многое на­поминает здесь о давно минувших днях — древние город­ские стены, средневековые дома, старинная ратуша и цер­ковь с тремя шпилями. На центральной площади памят­ник—на высоком постаменте застыл с циркулем в руке немолодой человек в старинной одежде.

Рассказывают, что когда в начале 1945 г. к городку по­дошли французские войска, командование решило подвер­гнуть Вейль-дер-Штадт мощному артиллерийскому обстре­лу, опасаясь, что за крепкими стенами нашли убежище недобитые гитлеровцы. Однако огонь так и не был открыт: командир отменил артиллерийский налет, узнав, что перед ним родной город Кеплера. Это обстоятельство спасло го­родок от значительных разрушений и сохранило его Древ­ний облик.

В этом городе (носившем тогда более краткое название Вейль) 27 декабря 1571 г. в 2 часа 30 минут пополудни в доме бургомистра ро­дился Иоганн Кеплер — знаменитый астроном, физик и математик конца XVI — первой трети XVII в. В те далекие времена в городке проживало всего около двухсот семейств бюргеров, в большинстве ремесленников: ткачей и кожевников.

Кеплеры обосновались в Вейле около 1520 г., когда сюда из Нюрнберга переселился прадед будущего астро­нома, скорняк Себальд Кеплер, сын переплетчика. У Себальда Кеплера, одно время выполнявшего обязан­ности городского казначея, была большая семья. Один из его сыновей, тоже Себальд, женатый на Катерине Мюллер из ближнего городка Марбах, был с 1569 по 1578 г. бурго­мистром Вейля. И его бог не обидел детьми ⎯ их было ровно дюжина. Четвертым по старшинству был Генрих, отпраздновав­ший 16 мая 1571 г. свадьбу с дочерью деревенского трак­тирщика из соседнего селения Эльтингена Катериной Гульденман. Жениху и невесте было в то время по 24 года. Через семь с половиной месяцев после свадьбы у них по­явился первенец — маленький и очень слабый ребенок, названный при крещении Иоганном.

О неблагоприятной обстановке, в которой прошло детство ученого, можно судить по характеристикам, которые Кеплер дал своим ближайшим родственникам в фамильном гороскопе, составленном им уже в зрелом возрасте, в 1597 году. Вот что он пишет о своем отце:

«Генрих, отец мой, родился 19 января 1547 года. ... Человек злобный, непреклонный, сварливый, он обречен на худой конец ..., скиталец ... в 1574 г. мой отец уже в Бельгии. В 1575 мать отправилась в Бельгию и вместе с отцом возвратилась. В 1576 отец опять оказался в Бельгии, а в 1577 ... едва избежал опасности быть повешенным. Он продал свой дом и открыл харчевню. В 1578 ... воспламенилась банка ружейного пороха и изуродовала лицо отца ... в 1589 ... оставив мать тяжело больной, он исчез из дому окончательно ...». В таком окружении грубых необразованных людей прошли первые годы жизни маленького Иоганна. Его детство и юность были омрачены и другими обстоятельствами — отсутствием надлежащего ухода и очень слабым здоровьем, предрасполагавшим к частым и длительным заболеваниям. Слабое здоровье было серьезным препятствием для астрономических наблюдений в холодные ночи, но еще большим препятствием был врожденный недостаток зрения — сильная близорукость и монокулярная полиопсия (множественное зрение) — состояние глаза, обычно неисправимое, при котором фиксируемый одиночный объект кажется множественным.

Известной компенсацией за невзгоды детства была для Кеплера относительная доступность образования в тогдашнем Вюртемберге. Хотя родителей, видимо, мало заботило образование Иоганна, в семилетнем возрасте (в 1578 г.) они поместили его в начальную немецкую школу, где обучали чтению, письму и элементарным навыкам в вычислениях.

Еще перед окончанием школы родители стали думать, что делать дальше с мальчиком. Малосильность и слабое здоровье не позволяли использовать его на тяжелых полевых работах. Советы учителей, денежные соображения и в меньшей мере религиозные побуждения привели их к решению выбрать для ребенка духовную карьеру. Путь к высоким духовным постам давало окончание теологического факультета университета, для поступления на который нужно было окончить низшую и высшую семинарии. Кеплер начинает обучение в 1584 году в грамматической школе (низшей семинарии) в Адельсберге, а через 2 года, с 26 ноября 1586 г., продолжает учебу в высшей семинарии в Маульбронне. Программа обучения была очень обширная: кроме богословия, изучались римские и греческие классики, риторика и диалектика, математика и музыка. Режим был жесток: занятия в классах начинались зимой в 5 часов утра, а летом — в 4.

25 сентября 1588г. Кеплер выдерживает в Тюбингене экзамен на степень бакалавра, после чего еще год продолжает учебу в Маульбронне. 17 сентября 1589 г. начинается его учеба в Тюбингенском университете. Среди преподавателей университета, имевших влияние на молодого Кеплера, следует отметить профессора классической филологии Мартина Крузиуса (1526 — 1607), богослова Маттиаса Гафенреффера (1561 — 1619), позже ректора университета, и особенно Михаэля Местлина (1550 — 1630). Местлин очень скоро заметил необычайные способности Кеплера к математике и астрономии, проявлявшиеся, в частности, в том, что тот выводил новые теоремы (как их тогда называли — предложения) и делал построения, лишь потом убеждаясь, что они уже известны. Местлин ввел молодого ученого в круг немногих своих воспитанников, пользовавшихся его особым доверием, среди которых он пропагандировал коперниканское учение. Наряду с астрономией Кеплер уже в те годы интересо­вался астрологией, что для него было не только данью вре­мени, но и соответствовало его тогдашним представлениям о причинности и взаимосвязях между явлениями. Среди студентов он слыл большим мастером в составлении горо­скопов.

Во второй половине 1594 г. теологическое образование Кеплера должно было завершиться. Но в первые месяцы этого года, прежде чем он смог получить документы об окончании университета, открывавшие ему формально путь к блестящей духовной карьере, неожиданно произош­ли события, в результате которых наметился решающий поворот в его жизни и деятельности. В протестантской средней школе в Граце, главном городе австрийской про­винции Штирии, скончался преподаватель математики, воспитанник Тюбингена Георг Стадиус. Штирийская проте­стантская община обратилась в сенат Тюбингенского уни­верситета с просьбой подыскать достойного преемника среди университетских воспитанников. Преподава­телей математики в Тюбингене, как, видимо, и в других тогдашних университетах, специально не готовили, и вы­бор сената, не без участия Мёстлина, пал на 22-летнего магистра искусств Иоганна Кеплера, лучше других подго­товленного к этой деятельности. Хоть и не хотелось Кеплеру оставлять учебу, а вместе с ней и мечту о духовной карьере, а деваться было неку­да — он был обязан подчиниться постановлению сената и отправиться по назначению. «Я воспитывался на счет герцога Вюртембергского и ... решился принять первую предложенную мне должность, хотя и с не особенной охотой», — писал он позже.

***Кеплер в Граце. «Космографическая тайна»***

Обстановка, окружавшая Кеплера в Граце, мало бла­гоприятствовала его научной деятельности. Ибо, как за­метил его друг Коломан Цегантмаир, секретарь барона Герберштейна, штирийская знать проявляла поразитель­ное невежество во всем, обладала варварской точкой зре­ния в своих суждениях, ненавидела науку и ничем мень­ше не интересовалась, чем учеными. Предмет, преподавать который предстояло Кеплеру, не вызывал у дворянских и бюргерских отпрысков энтузиаз­ма. Изучение математики не было, видимо, обязательным, и если в первый год его уроки еще посещало несколько учащихся, то на следующий не осталось ни одного. Одна­ко контролировавшие работу преподавателей инспекторы оказались достаточно великодушными, не ставя это в ви­ну учителю, так как, по их мнению, на «изучение матема­тики не всяк способен». Взамен математики Кеплеру при­шлось преподавать арифметику, классическую литерату­ру (Вергилия), риторику и другие предметы.

Вместе с должностью преподавателя по существовав­шей традиции он приобретал также звание и должность «Landschaftsmathematikus» (т. е. математика провинции [Штирии]), ему вменялось также в обязанность ежегодно составлять календари. В изданном в две краски первом календаре Кеплера содержались различные астрономические сведения, в том числе данные о фазах Луны, о положении планет и Солн­ца среди звезд, краткие статьи об астрономических и фи­зических явлениях. Следуя давно установившейся тради­ции, а также заботясь о «сохранении жалованья, должно­сти и крова», пришлось «для удовлетворения безрассуд­но-глупого любопытства» приложить к календарю «Про­гнозы» («Prognostika») — виды на погоду и на урожай, политические и иные предсказания астрологического ха­рактера. Кеплер неоднократно весьма скептически и до­вольно самокритично оценивал свои занятия составле­нием календарей и астрологией для заработка. В одном из писем он высказывается так: «Чтобы ищущий истину мог свободно предаваться этому занятию, ему необходи­мы по меньшей мере пища и кров. У кого нет ничего, тот раб всего, а кому охота идти в рабы? Если я сочиняю календари и альманахи, то это, без сомнения,— прости мне, господи,— великое рабство, но оно в настоящее вре­мя необходимо. Избави я себя хоть на короткое время от этого — мне пришлось бы идти в рабство еще более уни­зительное. Лучше издавать альманахи с предсказаниями, чем просить милостыню. Астрология — дочь астрономии, хоть и незаконная, и разве не естественно, чтобы дочь кормила свою мать, которая иначе могла бы умереть с голоду». Воздействие небесных светил на обитателей Земли Кеплер пытался объяснить в связи с появлением коме­ты 1607 г. следующим образом: «Если действительно верно, что согласно порядку природы появление кометы вызывает, а значит и предве­щает такие явления, как ветер, наводнения, засуху, земле­трясения или чуму, то это должно происходить следующим образом: когда на небе появляется какой-нибудь исклю­чительный феномен, то жизненные силы всех естествен­ных вещей должны испытывать это. Эта симпатия, свя­зывающая все с небом, простирается в особенности на силу, скрытую в Земле и господствующую над ее внут­ренним состоянием. Вследствие этого из Земли выде­ляются влажные испарения, влекущие за собой дожди, наводнения, а под конец и чуму». Однако ограниченный характер астрологических пред­сказаний не раз подчеркивался Кеплером: «Тот астролог, который предсказывает некоторые вещи по небу, не учи­тывая характера, души, разума, силы и телосложения того, кому он должен предсказать, поступает неправиль­но»,—писал он.

В то же время вера Кеплера в астрологию подтвер­ждается многими фактами, и среди них следующим: в январе 1598 г. у него родился сын Генрих, а у Местлина — сын Август. Составляя им гороскопы, Кеплер при­шел к выводу, что обоих ждет скорая смерть. Не искажая этот страшный прогноз, он сообщает его Местлину. Дети и в самом деле вскоре умерли, но не в предсказанное время.

Летом 1595 г. Кеплер, как ему показалось, подошел к большому открытию: он решил, что им обнаружены важ­нейшие закономерности в строении мира, установлена пер­вопричина взаимного расположения планет Солнечной си­стемы. Еще в студенческие годы, позна­комившись через Местлина с учением Коперника, Кеп­лер стал убежденным его приверженцем. При этом, одна­ко, новое астрономическое учение укладывалось у него в рамки религиозного сознания, откуда и черпались им ис­точники новых построений. Стремясь глубоко проникнуть в тайны строения Вселенной, он хочет достичь этого по­знанием божественных планов творения мира. Будучи уве­ренным в существовании мудрого промысла божьего, он думает, что при сотворении мира бог должен был исходить из простых числовых свойств и соотношений, использо­вать совершенные геометрические формы. Этот пифагорейско-платоновский подход к изучению вопросов миро­здания лег в основу его первого большого астрономического исследования, интенсивную работу над которым он развернул примерно через год после приезда в Грац.­

В числе первых вопросов, возникших перед Кеплером, был следующий: почему существует только шесть планет, а не двадцать, или, скажем, сто? Этот вопрос предстояло решить вместе с объяснением относительной величины рас­стояний между траекториями движения планет. Попыт­кой ответить на вопросы такого рода начались многолет­ние исследования, которые в конце концов привели к от­крытию законов движения планет. Сначала он предположил, что между параметрами пла­нетных орбит должны быть простые соотношения, выра­жающиеся целыми числами. «Я затратил много времени на эту задачу, на эту игру с числами, но не смог найти никакого порядка ни в численных соотношениях, ни в от­клонениях от них» — пишет он в предисловии к «Космо­графической тайне». Затем он попытался решить эту задачу, предположив существование дополнительных, еще не открытых по при­чине малых размеров, планет: одну из них он поместил между Меркурием и Венерой, а другую — между Марсом и Юпитером, рассчитывая, что теперь удастся обнаружить желанные соотношения, но и этот прием не привел его к ожидаемым результатам.



Рис. 1

«Я потратил почти все лето на эту тяжелую работу, и в конце концов совершенно случайно подошел к истине». 9 июля 1595 г. — Кеплер скрупулезно зафиксировал эту дату, — решая с учениками какую-то геометрическую за­дачу, он начертил на классной доске равносторонний тре­угольник со вписанной в него и описанной около него ок­ружностями (см. Рис.1). Внезапно его озарила мысль, которая явилась, по его мнению, ключом к разгадке тайны Вселенной. Прикинув отношение между радиусами ок­ружностей, он заметил, что оно близко к отношению радиу­сов круговых орбит Сатурна и Юпитера, как они были вы­числены Коперником (здесь отношение R : r = 2 : 1, а от­ношение RС : RЮ = 8.2 : 5.2, по Копернику). В дальнейшем ход рассуждений был таким: Сатурн и Юпитер — «пер­вые» планеты (считая по направлению к Солнцу) и «тре­угольник — первая фигура в геометрии. Немедленно я попытался вписать в следующий интервал между Юпите­ром и Марсом квадрат, между Марсом и Землей — пяти­угольник, между Землей и Венерой —шестиугольник...». Во времена Кеплера было известно только шесть планет Солнечной системы, наблюдаемых невооруженным взглядом: Меркурий, Венера, Земля, Марс, Юпитер и Сатурн. Планета Уран была открыта В. Гершелем много позже — в 1781 г., Нептун открыт астрономом Галле и математиком Леверье в 1846 г., Плутон был обнаружен только в 1930 г.

Но дело не ладилось, хотя, казалось, цель была совсем близкой. «И вот я снова устремился вперед. Зачем рассмат­ривать фигуры двух измерений для пригонки орбит в пространстве? Следует рассмотреть формы трех измерений, и вот, дорогой читатель, теперь мое открытие в Ваших руках!». Можно построить любое число правиль­ных многоугольников на плоскости, но можно построить лишь ограниченное число правильных многогранников в пространстве трех измерений. Такими правильными мно­гогранниками, все грани которых являются правильными и равными между собой многоугольниками и все двугран­ные углы которых равны между собой, являются: те­траэдр (4 треугольные грани), куб (6 граней-квадратов), октаэдр (8 треугольных граней), додекаэдр (12 пятиугольных граней) и икосаэдр (20 треугольных граней).

Важным свойством правильных многогранников явля­ется существование для каждого из них вписанного и описанного шаров (сфер) таких, что поверхность вписан­ного шара касается центра каждой грани правильного многогранника, а поверхность описанного шара проходит через все его вершины. Центры этих шаров совпадают между собой и с центром соответствующего многогран­ника. Еще древним грекам было известно, что число видов правильных многогранников ограничивается пятью. Но ведь и промежутков между планетами, подумал Кеплер, тоже пять. Как трудно было допустить, что это простая случайность (к тому же умозаключение опиралось на не­верное представление о числе планет) и как заманчиво было видеть в этом совпадении мудрость творца. Ответ на вопрос, почему планет шесть, не меньше и не больше, казалось найден. Одновременно назревает и решение во­проса об относительных расстояниях между орбитами пла­нет: в сферу, на которой расположена орбита Сатурна, вписан куб, в него вписана следующая сфера — с орбитой Юпитера, далее последовательно вписаны тетраэдр, сфе­ра Марса, додекаэдр, сфера Земли, икосаэдр, сфера Вене­ры, октаэдр, сфера Меркурия, в центре всей системы у коперниканца Кеплера, разумеется, Солнце, и — тайна Вселенной раскрыта, раскрыта молодым учи­телем протестантской школы в Граце и математиком про­винции Штирии.

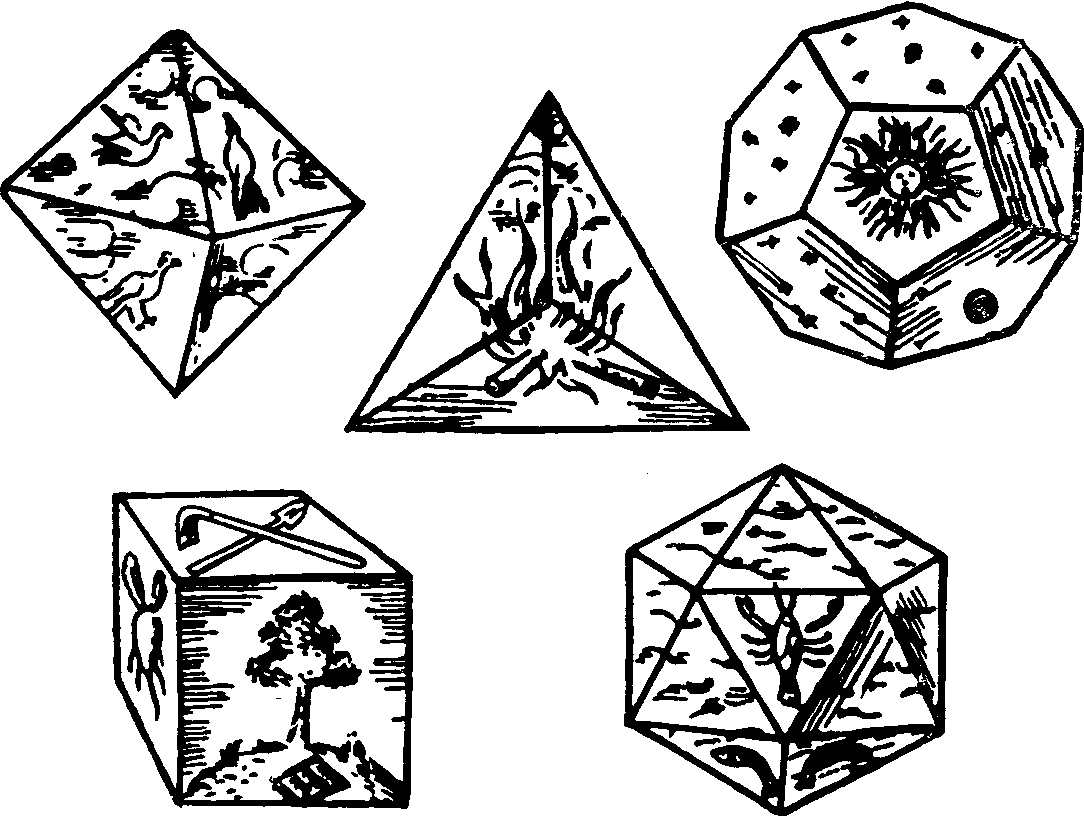


Рис. 2 *Правильные многогранники (из книги Кеплера «Космографическая тайна»)*

Математический аппарат, применяемый в этом случае, достаточно элементарен, дело сводится к вы­числениям зависимостей между радиусами сфер, описан­ных вокруг соответственных правильных многогран­ников и вписанных в них. Пусть, например, радиус орбиты Земли, а значит и соответст­вующей сферы, равен 1. Эта сфера опи­сана вокруг икосаэдра, в который вписана сфера Венеры. Решая геометрическую задачу на опреде­ление радиуса сферы, вписанной в икосаэдр, и сравнивая полученную величину с радиусом описанной вокруг ико­саэдра сферы Кеплер получил соотношение 0,762 : 1. Относительные расстояния до Солнца для шести пла­нет Солнечной системы, полученные Коперником и Кепле­ром, и современные усредненные значения приводятся в таблице:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Меркурий | Венера | Земля | Марс | Юпитер | Сатурн |
| По Копернику | 0,379 | 0,719 | 1,000 | 1,520 | 5,219 | 9,174 |
| По Кеплеру | 0,419 | 0,762 | 1,000 | 1,440 | 5,261 | 9,163 |
| Современные усред­ненные значения | 0,387 | 0,723 | 1,000 | 1,524 | 5,203 | 9,539 |

Видим, что данные Кеплера весьма значительно отличаются от вычисленных еще Коперником, и притом во всех случаях — в сторону ухудшения. Объясняя эти расхождения, Кеплер предположил, что каждая из планетных сфер, не будучи материальной, тем не менее имеет некоторую толщину.

Закончив рукопись, Кеплер озаглавил ее так: «Prodromos dissertationem cosmographicum continens Mysterium cosmographicum» — «Предвестник космографических исследований, содержащий космографическую тайну».

***Главный поиск. «Новая астрономия»***

Над «Новой астрономией» Кеплер работал с небольши­ми перерывами с 1600 по 1606 г. Значение этой книги состоит прежде всего в том, что в ней дан вывод двух из трех знаменитых законов движения планет, названных его именем. В современной формулировке эти законы обыч­но звучат так:

I. Все планеты движутся по эллипсам, в одном из фокусов которых (общем для всех планет) находит­ся Солнце.

II. Площади, описываемые радиусами-векторами пла­нет, пропорциональны времени.

Третий закон был опубликован Кеплером позже, в 1619 г., в книге «Harmonices Mundi» («Гармония мира»). Кеплерово сочинение и по форме и по содержанию зна­чительно отличается от многих научных трактатов того времени. Если Коперник, Галилей и Ньютон знакомят нас только с конечными результатами своих научных дости­жений, то Кеплер совершенно сознательно описывает ход своей работы во всех деталях, включая все неудачи и успехи, ошибки и гениальные догадки, ловушки и их об­ходы. Почему он так поступает, он объясняет в преди­словии: «Для меня важно не просто сообщить читателю, что я должен сказать, но прежде всего ознакомить его с дово­дами, оговорками, счастливо преодоленными опасностями, которые привели меня к моим открытиям. Когда Христо­фор Колумб, Магеллан и португальцы, из которых первый открыл Америку, второй Китайский океан, а последние — морской путь вокруг Америки, повествуют, как они сби­вались с пути и блуждали в своих путешествиях, мы не только прощаем им это, но, более того, мы не желаем пропуска этих рассказов, так как тогда при чтении было бы потеряно впечатление о всем значительном в их пред­приятиях. Пусть же поэтому и мне не поставят в вину, когда я, вызывая у читателя интерес, пойду подобным путем в своем изложении. Конечно, при чтении, например похождений аргонавтов, мы сами не принимаем участия в их злоключениях, а трудности и тернии на моем мыслен­ном пути могут задеть и самого читателя, но таков уж жребий всех математических сочинений».

Кеплер начал свое исследование составлением на ос­новании наблюдений Тихо Браге полного списка момен­тов, долгот и широт для всех противостояний планеты Марс с 1580 г. (Браге наблюдал противостояния Марса десять раз с 1580 по 1600 г., два раза — в 1602 и 1604 гг. их наблюдал Кеплер). Еще Коперник, следуя Птолемею, считал центр земной орбиты истинным центром орбит всех планет. Браге так­же определял противостояние планеты как положение, противоположное этой точке, т. е. так называемому «сред­нему Солнцу». Кеплер уже в «Космографической тайне» указывал, что Солнце само является естественным цент­ром планетной системы, и считал, что противостояние сле­дует брать по отношению к реальному, а не к среднему Солнцу. Это было первым существенным нововведением в методы исследования.

Кеплер впервые предпо­ложил, что движение планет происходит вследствие воз­действия на них некоей силы, исходящей от Солнца. Таким образом, у Кеплера Солнце становится не толь­ко источником света и тепла для всей планетной системы, но также и источником движущей планеты силы.

Второе нововведение Кеплера заключалось в следую­щем. Орбиты всех планет лежат не совсем в одной плос­кости — их плоскости образуют одна с другой небольшие углы (например, плоскости орбит Земли и Юпитера со­ставляют угол в 1°18,5'). Если не учесть этот факт, приходится встречаться с большими затруднениями при объяснении некоторых особенностей в наблюдаемых с Земли положе­ниях Марса. Коперник, например, считал, что плоскость орбиты Марса колеблется в пространстве, не интересуясь физической причиной такого странного явления. Предпо­ложив, что дело здесь в наличии некоторого постоянного угла между плоскостями планетных орбит, Кеплер без осо­бого труда, по данным наблюдений Браге, убеждается в правильности своей гипотезы и находит угол между пло­скостями орбит Земли и Марса равным 1°50'.

Третье нововведение Кеплера более радикально. От Платона и Птолемея до Коперника и Браге астрономы были уверены в том, что планеты совершают свои круго­вые движения с равномерной скоростью. Кеплер, сохра­няя на первых порах движение круговым, отбрасывает аксиому равномерного движения. И при этом он руковод­ствуется прежде всего физическими соображениями: если Солнце управляет движением, является его источником, то его сила должна действовать на планету более интен­сивно, когда она находится ближе к источнику, и менее интенсивно, когда планета от него удалится, следователь­но, планета будет двигаться с большей или меньшей ско­ростью в зависимости от ее расстояния до Солнца. Эта идея была не только отрицанием античной тра­диции, она отвергала и предположение Коперника, по которому не могло быть, « ... чтобы простое небесное тело неравномерно двигалось одной сферой ... ». Коперник был в свою очередь решительно не согла­сен с учением Птолемея о том, что планеты движутся равномерно не вокруг центров своих орбит, а вокруг во­ображаемой точки на некотором расстоянии от центра. Эта точка называлась punctum aequans или aequant (уравнивающей точкой, или эквантом). Коперник, отказав­шись от птолемеевых эквантов, ввел вместо них добавоч­ные эпициклы. Кеплер, отбрасывая догму равномерного движения, воз­вратился к понятию экванта, рассматривая его как важное вычислительное средство.

Этими нововведениями Кеплер несколько облегчил предстоящее решение своей задачи. Кеплер писал: «Ох, сколько я должен был пролить слез над трогательным старанием Апиана, кото­рый, следуя Птолемею, зря тратил свое драгоценное время и изобретательность на построение спиралей, петель, вин­товых линий, завитков и целого лабиринта инволюций, чтобы изобразить то, что существует только в воображе­нии и которое природа отказывается принять как свое подобие».



Рис. 3

Первая попытка решить задачу описывается Кеплером в XVI главе «Новой астрономии». Его задача состояла прежде всего в определении некоторых параметров ор­биты Марса, которую, напомним, Кеплер пока еще полагал круговой. Нужно было определить радиус орбиты (см. Рис. 3), направление по отношению к неподвижным звездам линии аспид, т.е. оси, соединяющей точку, в которой планета бывает ближе всего к Солнцу (перигелий), и противоположную ей точку (афелий), а также положение Солнца (S), центра орбиты (C) и экванта (Е), которые лежат на этой оси. Из журналов наблюдений Тихо Браге, которы­ми он теперь располагал, он выбрал запись о четырех наблюдавшихся противостояниях Марса — в 1587, 1591, 1593 и 1595 гг. В самом начале своих вычисле­ний Кеплер по рассеянности допускает несколько ошибок, которые должны были бы существенно повлиять на пра­вильность вычислений. Кеплер так и не заметил их до конца своей работы, но их обнаружил французский исто­рик астрономии Деламбр. Тем не менее исправленные Деламбром вычисления в результате дали почти те же значения — оказалось, что в самом конце вычислений Кеплер при делении снова допустил ошибки, перекрывшие первые! В результате вычислений Кеплер по­лучил полный эксцентриситет, равный 0,18564 долям ра­диуса, причем Солнце отстоит от центра на 0,11332, а эквант — на 0,07232 доли радиуса (современная теория показывает, что оба расстояния должны быть приблизи­тельно равны 0,5625 и 0,4375 полного эксцентриситета; значения, полученные Кеплером — 0,6104 и 0,3896 соответственно). Дол­гота афелия для 1587 г. составляла 148°48’55’’. Полу­ченные им значения при подстановке в данные десяти наблюдений Браге расходились менее чем на 2’, что было вполне допустимым.

Однако уже следующая глава начинается удивленным возгласом: «Как же это могло быть? Гипотеза, которая хорошо согласуется с наблюдениями противостояний, все же ошибочна». И в двух последующих главах Кеплер обстоятельно объясняет, как он установил, что гипотеза ложна и почему ее нужно отвергнуть. Пытаясь применить свою модель к вычислению про­межуточных положений Марса по данным наблюдений Браге, Кеплер обнаруживает расхождение теории с прак­тикой, достигающей в численном выражении 8’.

Следующий этап исследований Кеплер описывает в книге третьей. Многократные вычисления говорят Кеплеру о том, что невозможно построить круговую орбиту планеты, полно­стью соответствующую данным наблюдений. Окружность полностью определяется заданием трех точек на ней, любая другая кривая линия требует знания положения большего количества точек на ней. Для опре­деления формы орбиты Марса, копь скоро она не была окружностью, требовалось прежде всего уточнить орбиту небесного тела, на котором размещен наблюдатель, т. е. самой Земли. Ведь из неправильного представления о дви­жении наблюдателя выводы о движении наблюдаемых объ­ектов будут тоже неверны. Если бы было возможно в каждый момент времени находить непо­средственно величину отрезка Земля — Солнце. Но такой возможности у Кеплера не было. Другой принципиально возможный слу­чай заключается в выборе в пространстве некоторого непод­вижного ориентира о котором известно, что он в течение длительного времени сохраняет свое положение неизменным. Тогда земные наблюдатели могли бы при необходимости визи­ровать направление на него.

Рис. 4

Допустим, что в определенный момент времени Зем­ля (З) находится на прямой, соединяющей Солнце (С) с нашим ориентиром М (см. Рис. 4). Если в это время визировать с Земли направление на ориентир М, то по­лучим направление СМ (Солнце—ориентир). Пусть это направление зафиксировано на небесном своде. Рассмотрим положение Земли в другой момент (З1). Если и Солнце (С) и ориентир М видны с Земли (З1) то в треугольнике СЗ1М известен угол α = СЗ1М. Направление прямой СМ относительно неподвижных звезд определено раз и навсегда. Но теперь, установив направление на Солнце З1С прямым наблюдением, можно определить и угол β = З1СМ. Следовательно, треугольник СЗ1М может быть теперь построен по стороне СМ и двум углам α и β для каждого положения З1 и при этом определится это самое положение З1 относительно задан­ного базиса СМ. Таким образом можно получить необхо­димое число точек, принадлежащих орбите Земли.

Но где же взять ориентир М? Изобретательный ум вели­кого астронома использовал ориентир, хоть и не строго не­подвижный, но периодически, через известные заранее ин­тервалы времени, занимающий одно и то же положение в про­странстве. Дело в том, что уже и тогда была довольно точно известна продолжительность марсианского года, т. е. период обраще­ния Марса вокруг Солнца, — 687 дней. Используя эту величину в качестве исходной, теперь достаточно было учесть, что любое зафиксированное поло­жение Марса (и длина отрезка МС) через целое число марсианских лет будет повторяться, в то время как поло­жение Земли на ее орбите каждый раз будет, вообще говоря, иным. Таким образом можно установить такое количество точек орбиты Земли. Естественно, что, не располагай Кеплер данными многолетних наблюдений Браге за Марсом, быстрое решение этой задачи оказалось бы невозможным.

Результаты произведенных Кеплером вычислений сов­пали с его предположениями: Земля, как и другие плане­ты, вопреки мнению Коперника и его предшественников, не движется равномерно, а быстрее, когда она ближе к Солнцу, и медленнее, когда дальше от него. Так впервые в истории астрономии была показана ошибочность аристо­телевского представления о равномерных движениях планет. Дальше, занимаясь вычислением расстояния Марс — Земля, Кеплер нашел, что наибольшее расстояние, в афелии (в частях радиуса земной орбиты), составляет 1,6678, а наименьшее, в пери­гелии, 1,3850. Тогда радиус орбиты Марса будет равен:



а расстояние Солнца от центра орбиты Марса



т.е. половине ранее выведенного из движения Мара полного эксцентриситета его орбиты (равного 0,1856). Таким образом Кеплером было установлено, что пол­ный эксцентриситет планет делится центром орбиты на две равные части между Солнцем и эквантом.

***Кеплеровская концепция тяготения.***

В течение многих веков в естествознании господство­вала аристотелевская точка зрения на природу тяготения: «Земля и Вселенная имеют общий центр; тяжелое тело движется к центру Земли, и происходит это вследствие того, что центр Земли совпадает с центром Вселенной».

В «Новой астрономии» по мнению Кеплера, тяготение — это «взаимное телесное стремление сходных (родственных) тел к единству или соединению». В примечаниях к своему более позднему сочинению о лунной астрономии Кеплер пишет: «Гравитацию я определяю как силу, подобную магне­тизму — взаимному притяжению. Сила притяжения тем больше, чем оба тела ближе одно к другому ... ». Этим самым Кеп­лер существенно продвигается в направлении, которое позже приводит Ньютона к открытию его знаменитого за­кона всемирного тяготения. Здесь же Кеплер добавляет: «Причины океанских приливов и отливов видим в том, что тела Солнца и Луны притягивают воды океана с помощью некоторых сил, подобных магнетизму». Пытаясь устано­вить количественную зависимость между силой притяже­ния и расстоянием, Кеплер предположил, что сила притя­жения прямо пропорциональна весу, но обратно пропор­циональна расстоянию.

Внимание Кеплера было привлечено и к такому свой­ству материальных тел, как инерция. Сам термин «инерция» был введен в именно Кеплером. Он обозначил им явление сопротивления движению покоящихся тел. Инерция движения, по крайней мере до 1620 г., им не рассматривается. Важно отметить, что понятие инерции было распростра­нено Кеплером (в его понимании) на внеземные тела и явления. В «Новой астрономии» он пишет: «Планетные шары должны быть по природе материальны ..., они обла­дают склонностью к покою, или отсутствию движения».



Рис. 5 К выводу Кеплером закона площадей

Для объяснения эксцентричности орбит Кеплер предполо­жил, что планеты представляют собой «огромные круглые магниты», магнитные оси которых сохраняют постоянное направление, подобно оси волчка. Следовательно, планеты будут периодически то притягиваться ближе к Солнцу, то отталкиваться от него, в соответствии с расположением их магнитных полюсов. Далее Кеплер делит всю орбиту Земли на 360 частей, отметив на орбите положение Земли З1, З2,..., З360 в соответствующие моменты времени t1, t2,..., t360. Кеплер сопоставлял сумму расстояний между Землей и Солнцем в моменты време­ни ti и tk (и во все промежуточные моменты) с промежутком времени, необходимым планете, чтобы перейти из положения Зi, Зk. При сложении оказалось, что эта сумма отрезков не за­висит от выбранного участка орбиты, а только от величи­ны промежутка времени. Вспомнив затем, как Архимед для нахождения площади круга разлагал его на боль­шое число треугольников, Кеп­лер заменяет сумму расстоя­ний площадью сектора, описан­ного радиусом-вектором точки орбиты, считая эти величины пропорциональными, хотя и не говоря об этом прямо (см. Рис. 5). Необходимо заметить, что при выводе закона площадей (в конце 1601 — начале 1602 г.) Кеплер встретился и по-своему справился с задачей, имею­щей прямое отношение к тому разделу математики, бур­ное развитие которого вскоре ознаменовало наступление нового этапа в истории математики, связанного с исчис­лением бесконечно малых. Его попытка бесконечного сум­мирования по существу была первым шагом в численном интегрировании. Второй закон определял изменение скорости движения планет по их орбите, однако сама форма орбиты остава­лась еще неизвестной.

Теперь Кеплеру предстояло дать математическое описание той кривой, по которой движется планета, и эта задача оказа­лась самой сложной и трудоемкой. Пришлось проверять одну за другой многие гипотезы. При этом, правда, в распоряжении Кеплера уже было мощное средст­во исследования — его закон площадей. Это давало возможность, задавая гипотезу о кривой той или иной формы, вычислять положения, кото­рые должен был бы занимать Марс на этой предполагае­мой орбите в различные моменты времени, и сравнивать их с наблюдаемыми положениями. «Правда лежит между кругом и овалом, как будто орбита Марса есть точный эллипс». Но, поместив Солнце в его центр, Кеплер сно­ва не пришел к согласующемуся с данны­ми наблюдений результату.

В начале 1605 г. Кеплеру удалось найти истинную связь между расстоянием Солнце — Марс и так называе­мой эксцентрической аномалией. Он нашел тогда уравне­ние, которое сейчас называется его именем и широко используется в теоретической астрономии. Это уравнение имеет вид:



— константы. Это уравнение является одним из первых трансцендентных уравнений, которые нашли практическое приложение. Наконец Кеплер заметил, что боковое сжатие орбиты составляет 0,00429 доли ра­диуса, что точно равно поло­вине квадрата определенно­го им ранее эксцентриситета (0,09262 =0,00857). И тогда Кеплер предположил, что орбита Марса — эллипс, но Солнце располагается не в его центре, а в одном из фо­кусов. Проверка гипотезы эллипса быстро привела его к успешному завершению работы, ознаменовавшемуся вы­водом первого закона: Марс движется по эллипсу, в одном из фокусов которого находится Солнце. Кеплер не сомне­вался, что по этому же закону движутся и ос­тальные планеты, что вскоре им было проверено. Он был уверен также, что и орбита Земли — эллипс, но из-за ма­лого эксцентриситета (e= 0,01673) и недостаточной точ­ности наблюдений этот эллипс тогда еще невозможно бы­ло отличить от окружности. Открытые Кеплером законы подготовили почву Нью­тону для открытия закона всемирного тяготения.

Законы Кеплера сохраняют свое значение и в наше время. Правда, будучи абсолютно строгими математиче­скими законами для движения двух материальных тел (точнее — материальных точек), они не учитывают воз­действия на каждую планету других планет, которые хо­тя и очень слабы, но все же приводят к небольшим откло­нениям их движения от эллиптической орби­ты. Но математики и астрономы научились учитывать эти воздействия (благодаря чему, между прочим, были откры­ты планеты Нептун и Плутон).

Третий закон движения планет Кеплер вывел значительно позже (в 1619 г.). Суть этого закона была изложена в труде под названием «Мировая гармония». Кеплер формулирует этот закон так: «... отношение между периодами обращения каких-нибудь двух планет как раз равняется полуторной степени отношения их средних расстояний; однако обращаю внимание на то, что среднее арифметическое обоих диаметров эллиптической, орбиты немногим менее длиннейшего диаметра». Сейчас этот закон формулируется в такой форме: квадраты сидерических периодов планет относятся между собой, как кубы их средних расстояний от Солнца.

***Математические исследования Кеплера.***

С 1594 г. Кеплер имел официальное звание математика: штирийский провинциальный математик с 1594 по 1600 г., императорский математик с 1601 г. до конца жизни и, кроме того, математик провинции Верхней Австрии с 1613 по 1628 г. в те времена понятие «математика» был значительно шире чем в наше время. Так в «Математическом словаре» французского академика Ж. Озанама, изданном в 1691 г., кроме традиционных арифметики, алгебры, геометрии, в круг математических предметов включены были также механика с гидростатикой, архитектура и фортификация, география и навигация, астрономия, оптика, а также музыка.

В работах Кеплера математического характера отчетливо прослеживается воздействие, которое оказывали на формирование новых математических идей и методов потребности точного естествознания, в особенности астрономии, механики. Математика во времена Кеплера становилась мощным инструментом изучения и открытия закономерностей и свойств окружающего мира.

Задачи из «Новой астрономии» были лишь первым его шагом в развитии математики переменных величин. Сле­дующим шагом была книга «Nova stereometria doliorum vinariorum... accesit Stereometriae Archimedae Supplementum» («Новая стереометрия винных бочек... с присоеди­нением дополнения к Архимедовой стереометрии»). Книга эта заняла видное место в истории математики и, кстати, является единственным произведением Кеплера, полностью переведенным на русский язык. Книга выш­ла в Линце в 1615 г., но написана она была почти на два года раньше, и послужил этому весьма любопытный по­вод, известный по словам самого Кеплера. Осенью 1613 г. в Верхней Австрии был собран особен­но обильный урожай винограда. Многочисленные суда и баржи, груженные вином, уходили вверх по Дунаю, а при­стань в Линце все еще была забита бочками. Кеплер как решил запастись приятным на­питком. Бочки с вином были доставлены к нему на двор, а затем появился купец и с помощью единственного инструмента — мерной линейки, стержня с делениями, быстро измерил количество вина в каждой из бочек без вся­ких вычислений и учета формы бочек. Он вставлял линей­ку в наливное отверстие бочки вплоть до упора в ниж­ний край днища, после чего объявлял количество амфор (сосудов, принятых за меру емкости) в ней. Кеплер был очень удивлен этим: каким образом нак­лонный отрезок между двумя определенными точками может служить мерой вместимости бочки. Он даже усом­нился в правильности такого метода измерения, так как представлялось, что очень низкая, ограниченная широкими днищами, бочка могла иметь такое же расстояние до нижней точки днища, как и более высокая бочка с менее широкими днищами. Обоснованно ли такое опре­деление вместимости? Тем более Кеплер вспомнил, что севернее, на Рейне, вместимость бочек определялась либо непосредственным подсчетом количества единиц меры емкости при переливании, либо производили многочис­ленные замеры размеров бочки, после чего в результате громоздких и утомительных вычислений объявляли ее емкость, хотя многим этот способ казался ненадежным.

Узнав, что употребление мерной линейки санкциони­руется здесь властями, Кеплер «счел для себя подходя­щим взять новый предмет математические занятий и ис­следовать геометрические законы такого удобного и край­не необходимого в хозяйстве измерения, а также выяс­нить его основания, если таковые имеются». Уже к концу того же года после нескольких недель работы было готово сочинение о результатах этого иссле­дования, и Кеплер отправил его для издания в Регенсбург, так как в это время в Линце еще не было ни одной типогра­фии. Однако издатель, к которому Кеплер обратился, вско­ре сообщил, что, по мнению книгопродавцев, предложенное Кеплером сочинение, к тому же написанное на латин­ском языке, пользоваться спросом не будет, и субсидировать издание отказался. Рукопись надолго застряла в Регенсбурге, и Кеплер вспомнил о ней только тогда, когда при его участии весной 1615 г. в Линце была создана типография. Не без затруднений (издатель, которому была направлена рукопись, к тому времени умер) удалось разыскать и вернуть рукопись в Линц. Кеплер подвергает ее существенной переработке, а также дописывает новую, очень важную главу «Дополнения к Архимеду». Уже осенью 1615 г. «Новая стереометрия винных бочек» — пер­вая книга, напечатанная в Линце, поступила в продажу на ярмарке в крупнейшем тогдашнем центре книготоргов­ли — Франкфурте.

Ее издание было предпринято Кеплером за свой счет. Пытаясь хотя бы частично покрыть понесенные расходы, он обращается к своим друзьям с просьбой рекомендо­вать его книгу заинтересованным лицам и учебным заве­дениям. О спросе на математическую литературу в то время свидетельствует письмо к Кеплеру Гданьского ма­тематика Крюгера, в котором он пишет, что во всей окру­ге видит лишь трех потенциальных покупателей: своего кёнигсбергского коллегу, кёнигсбергскую библиотеку и некоего дворянина по фамилии Невешинский.

Местные власти отнеслись к проделанной Кеплером работе весьма холодно, недвусмысленно дав ему понять, что было бы лучше «эту работу оставить, а довести до конца более важные вещи, такие, как порученные ему «Рудольфинские таблицы» и географическую карту». Однако Кеплер не внял этому весьма категорическому совету и взялся за переделку своей книги, ставя на этот раз целью сделать ее доступной для широких кругов лю­дей, нуждающихся в разработанных им приемах в своей практической деятельности, но не знающих латыни и не разбирающихся в тонкостях математики. С этой целью Кеплер упрощает изложение, меняет последовательность расположения материала, прилагает сведения о системах мер, древних и употреблявшихся в то время, а также таблицы их перевода из одной в другую, но главное — он переводит свое сочинение на немецкий язык. Последнее обстоятельство было очень важным, по­скольку научных книг на немецком языке тогда издавалось мало, а математическая терминология почти не была разработана. Поэтому значение появившейся уже весной 1616 г. на книжной ярмарке во Франкфурте книги под названием: «Ausszug auss der uralten Messekunst Archimedis», т. е. «Извлечения из древнего искусства измерения Архимеда...», состоит не только в привлече­нии внимания к возможностям математических методов широких слоев населения, но и в выполненной здесь боль­шой работе по созданию немецкой математической терми­нологии. Этим самым, а также изданием нескольких трак­татов астрономического содержания на родном языке (и подготовкой нескольких рукописей, оставшихся неиздан­ными) Кеплер внес существенный вклад в развитие язы­ка немецкой естественнонаучной литературы.

Книга «Новая стереометрия» состояла из трех частей. В предисловии Кеплер пишет: «Поскольку... винные бочки связаны с кругом, конусом и цилиндром — фигура­ми правильными — тем самым они поддаются геометриче­ским измерениям, принципы которых стоит привести в начале настоящего исследования, как они установлены Архимедом, конечно лишь настолько, насколько этого достаточно для удовлетворения ума, любящего геометрию, а полные и во всех частях строгие доказательства следует искать в самих книгах Архимеда, если кто не убоится тер­нистого пути их чтения. Впрочем, на некоторых мостах, которые не затронул Архимед, нужно остановиться по­подробнее, чтобы и более ученые люди нашли чем вос­пользоваться и чему порадоваться». Таким образом Кеплер подчеркивает, что в силу практической направ­ленности своего труда он не задерживается на положе­ниях своего великого предшественника, отсылая более требовательных читателей к первоисточникам, но здесь же он говорит и о том, что выходит за пределы достигну­того Архимедом.



Рис. 6

Первая часть сочинения, озаглавленная «Стереометрия правильных кривых тел», в свою очередь состоит из двух частей, в первой из которых — «Архимедовой стереомет­рии» Кеплер приводит 16 теорем, известных еще Архиме­ду, но различие в подходе Кеплера и подходе Архимеда к решению соответственных задач становится заметным с самого начала. Остановимся на примере с площадью круга. Произве­дение Архимеда «Измерение круга»начинается сле­дующим предложением: «Всякий круг равен прямоуголь­ному треугольнику, причем радиус круга равен одной из прилегающих к прямому углу сторон, а периметр — осно­ванию треугольника». Это предложение Архимед доказы­вает косвенно (методом исчерпывания), показывая с по­мощью вписанных и описанных правильных многоуголь­ников, что площадь круга будет не больше и не меньше площади указанного треугольника.

Кеплер рассуждает так: «Архимед пользуется косвен­ным доказательством, приводящим к невозможности, о чем многие и многие писали. Мне же кажется, что смысл этого [доказательства] следующий: окружность круга содержит столько же частей, сколько точек, именно, бес­конечное число. Каждую из них рассмотрим как основа­ние некоторого равнобедренного треугольника со сторо­ной АВ, и таким образом в площади круга окажется бес­конечное множество треугольников, соединенных верши­нами в центре А. Пусть, далее, окружность круга вытя­нута в прямую, и пусть ей равна ВС, а АВ к ней перпен­дикулярна (см. Рис. 6). Тогда основания всех этих бес­численных треугольников, или секторов, будут представ­ляться расположенными друг за другом по прямой ВС; пусть одно из таких оснований будет BF, и какое-нибудь равное ему — DЕ. Соединим точки F, Е, D с А. Таких треугольников ABF, АDЕ над прямой ВС получится столько же, сколько секторов в площади круга, и их осно­вания BF, DЕ и общая высота АВ будут такие же, как у секторов; следовательно, все эти треугольники ABF, АDЕ и т. д. будут равновелики (между собой) и каждый из них будет равновелик соответствующему сектору круга. А значит, и все вместе эти треугольники, имеющие основа­ния на линии ВС, т. е. треугольник ABC, всеми ими со­ставленный, будет равновелик сумме всех секторов круга, т. е. составленной ими площади круга. Это самое и имеет в виду архимедово приведение к нелепости». Архимед действительно мог иметь это в виду. Но учи­тывая, что между элементарным круговым сектором и элементарным треугольником имеется то различие, что дуга в основании сектора и радиус круга будут при ко­нечном n всегда больше соответственных линий элемен­тарного треугольника, для точности вывода следует пока­зать, что разность между площадями круга и треугольни­ка при увеличении числа делений может стать действи­тельно меньше любого данного сколь угодно малого числа (т. е. что эта разность представляет собой бесконечно ма­лое). Архимед своими рассуждениями это показывает, Кеплер — нет. У Кеплера хорды окружности переходят в точки, каждая из которых продолжает рассматриваться как основание некоторого равнобедренного треугольника. Получается, что площадь круга рассматривается Кепле­ром как какая-то сумма всех радиусов, а треугольника — как совокупность точек всех прямых, выходящих из одной из его вершин.

Излагая задачи из сочинений Архимеда, Кеплер не пользуется архимедовыми методами доказательств, а применяет суммирование бесконечно боль­шого числа «актуализированных» бесконечно малых. Кеплер говорит, что шар «как бы» содержит бесконечно много конусов, вершины которых лежат в центре, а основания — на по­верхности шара, и находит таким образом его объем. Вообще из его неоднократного «как бы» («veluti») вид­но, что он не стремится дать точное доказательство, а апеллирует только к наглядности. В некоторых местах Кеплер отказывается от доказательств Архимеда, назы­вая их чрезвычайно глубокими, но трудными для понима­ния, и вместо них приводит рассуждения, которые уста­навливают «вероятность» того или другого предложения из соображений индуктивного или интерполяционного характера.

Так Кеплеру удалось преодолеть недостатки метода исчерпывания древних. Ему, разумеется, не было извест­но содержание архимедового «Послания к Эратосфену», обнаруженного только в 1906 г. Из «Послания» становит­ся ясно, что и Архимед пользовался инфинитезимальньми соображениями, довольно близкими к кеплеровым.

Кеплер, как его современник Кавальери и другие бо­лее поздние математики XVII в. (например, Паскаль), часто употреблял выражение «Summa omnium» — «сумма всех» (сумма всех радиусов-векторов, сумма всех орди­нат), которое выполняло тогда роль нашего термина «интеграл». Кстати, как известно, знак интеграла (уд­линенная буква S) был введен Лейбницем в конце XVII в. именно для сокращенной записи выражения «Summa om­nium».

Во второй половине первой части своей работы — в «Дополнениях к Архимеду» — Кеплер показывает, что его способ оказывается очень удобным для решения мно­гих новых задач. Так, в теореме 18, например, он легко устанавливает, что объем тора равен объему ци­линдра, основанием которого служит меридиональное сечение тора, а высотой — длина окружности, описывае­мой центром образующего тор круга. Кеплер доказывает это так: меридиональными сечениями тор разбивается на бесконечно большое число кружочков, толщина которых у внешнего края тора больше, чем у внутреннего, но тол­щина кружочка в центральной части равна среднему арифметическому толщин у краев. Поэтому Кеплер при­нимает, что объем такого кружочка равен объему цилинд­ра, высота которого равна толщине центральной части кружка, а в основании лежит образующий тор круг. При этом тор и цилиндр, о которых говорится в условии теоре­мы, разбиваются на равное число равновеликих частей, этим и доказывается теорема. В следующем, более сложном примере определяется объем «яблока». Так называет Кеплер тело, образуемое сегментом, большим, чем полукруг, при его вращении вокруг хорды. Остроумным перераспределением деформированных без изменения объема долей «яблока», образованных по одному способу меридиональными сечениями данного тела вращения, проходящими через его ось, так называемую хорду сегмента, а по другому — тонкими концентрическими цилиндрическими слоями, имеющими осью хорду сегмента и развернутыми в прямоугольники, Кеплер получает тело, представляющее собой «цилиндрическое копыто» — цилиндрический сегмент, основанием которого является образующий «яблоко» сегмент, а высота равна длине окружности экватора данного тела вращения.

Рассмотрев в теоремах 18—22 вопросы о нахождении объемов тора, «яблока» и «лимона» («лимоном» названа тело, образуемое вращением сегмента, меньшего, чем полуокружность, вокруг хорды), Кеплер находит далее объемы и других тел, получаемых при вращении различным образом расположенных отрезков дуг конических сече­ний — эллипса, параболы и гиперболы. Всего сам Кеплер насчитывает 92 формы таких тел, многим из которых он приписывает меткие названия: «айва», «слива», или «олива», «земляника», «груша» и т. д.

Вторая часть его книги, названная «Специальная сте­реометрия австрийской бочки», начинается рассуждением о геометрической форме бочек. Он указывает, что в пер­вом приближении бочку можно рассматривать как ци­линдр, или как два усеченных конуса, сложенных больши­ми основаниями. Более точно форма бочек соответствует среднему слою либо лимона, образованного сегментом круга, либо сливы, образованной частью эллипса, либо параболического веретена, остающемуся после отсечения, равных частей с обеих сторон.

Далее Кеплер рассматривает зависимость между объ­емом бочек и длиной замеряемого отрезка и отношения большего диаметра (в среднем сечении) к меньшему. Но главный интерес для нас представляет то, что Кеплер занимает­ся здесь исследованием формы конусов, цилиндров, а так­же бочек, обладающих наибольшей вместимостью при наименьшей затрате на них материала, что приводит его уже к задачам другого важнейшего раздела исчисления бесконечно малых — дифференциального исчисления: к определению максимумов и изопериметрической задаче. Кеплер правильно отмечает основной признак максимума в том, что, как он пишет, разница между самим максиму­мом и непосредственно предшествующими или последую­щими значениями незаметна.

В третьей части книги («Употребление всей книги о бочках») Кеплер дает практические рекомендации по из­мерению объемов бочек, пытается найти способ для опре­деления с помощью мерного стержня «отношения пустой части к остатку жидкости при лежащей бочке», но в общем виде реше­ние этой задачи ему не удается. Хотя инфинитезимальные работы Кеплера фактически открыли новую эпоху, новый период в развитии матема­тики, они не были сначала правильно оценены многими его современниками. Некоторые математики резко высту­пили против его «нестрогих» методов определения объе­мов, против его метода суммирования бесконечно малых. Ученик Виеты шотландец А. Андерсон уже через год пос­ле появления «Стереометрии» издал специальное сочинение «В защиту Архимеда», где обвинял Кеплера в оскорблении памяти великого ученого. Они не понимали, что при всей нестрогости методов Кеплера, очевидной и для него самого, эти методы были весьма продуктивны и перспективны.

Таким образом, рассмотренные работы Кеплера положили начало целому потоку исследований, увенчавшихся в последней четверти XVII в. Оформлением в трудах И. Ньютона и Г. В. Лейбница дифференциального и интегрального исчисления.

**Список использованной литературы:**

1. Белый, Ю.А. Иоганн Кеплер. Изд. «Наука». М. 1971
2. Веселовский, И.Н. Очерки по истории теоретической механики. Изд. «Высшая школа». М. 1974
3. Григорьян, А.Т. Механика от античности до наших дней. Изд. «Наука». М. 1974
4. Кудрявцев, П.С. История физики и техники. М. 1960
5. Моисеев, Н.Д. Очерки развития механики. Изд. Московского Университета. 1961
6. Спасский, Б.И. История физики. Изд. Московского Университета. 1956