

ПЕРЕВОДЫ / TRANSLATIONS

АРИСТОТЕЛЕВ КОРПУС МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

А. И. ЩЕТНИКОВ

Центр образовательных проектов СИГМА, Новосибирск

schetnikov@ngs.ru

CORPUS ARISTOTELICUM. THE MECHANICAL PROBLEMS

Introduction, Russian translation and notes by Andrey Schetnikov
(СИГМА. The Centre of Educational Projects, Novosibirsk, Russia)

ABSTRACT: A collection of questions and answers on the subject of mechanics of the *Aristotelian corpus* (847a10–858b30) was compiled in Lyceum during and after Aristotle's time, in the late fourth and the early third centuries BCE. This earliest treatise on the theoretical mechanics allows us to observe a new branch of science in the process of its creation. Among other matters the authors attempt to explain the work of various mechanisms on the basis of a single principle, the lever and circular motion. The collection is marked by its diversity: it proposes a range of working hypotheses and offers alternative explanations for the same phenomenon, a rare witness of vivid school discussions of the scientific matters.

KEYWORDS: ancient science, mechanical devices, movement, lever, arm

ОТ ПЕРЕВОДЧИКА

Краткий обзор

Механические проблемы, входящие в корпус сочинений Аристотеля – это самый ранний дошедший до нас трактат по теоретической механике. Читая его, мы можем наблюдать новую науку в состоянии её зарождения, мы знакомимся с первыми попытками объяснения различных механических устройств, исходя из единого начала. Таким единым началом всей механики полагается здесь рычаг и его круговое движение. С помощью рычага объясняется работа разного рода весов, ворота, катков, полиспаста, гребных и рулевых вёсел, клина, клещей, распределение нагрузки при переносе тяжестей. В связи с обоснованием

начал механики вводится параллелограмм сложения перемещений. Ряд вопросов посвящён также обсуждению разгона и торможения тел.

Другие античные сочинения по механике

Общие принципы учения о движении рассматриваются Аристотелем в *Физике*. Из античных сочинений по механике до наших дней дошли трактаты Архимеда, связанные с понятием центра тяжести и его применением к обоснованию закона рычага и к решению геометрических задач об определении площадей и объёмов, *Механика* Герона, в которой действие различных простых машин также сводится к закону рычага, 10 глава трактата Витрувия *Об архитектуре*, в которой речь идёт о практических применениях механических приспособлений, а также ряд сочинений по строительству военных машин. И Герон, и Витрувий выказывают своё знакомство с *Механическими проблемами*, неоднократно приводя содержащиеся в них рассуждения. Многие идеи *Механических проблем* были усвоены также и средневековой традицией «науки о тяжестях» (Clagett 1959, Зубов 1962), вплоть до механики Ренессанса (Гуковский 1947, Rose & Drake 1971).

«Проблемы» как жанр научной литературы

Механические проблемы соседствуют в корпусе сочинений Аристотеля с ещё одним большим сочинением, которое также называется *Проблемами*, и авторство которого также считается спорным. Каждая проблема – это поставленный вопрос и попытка ответа на него. Автор не утверждает «это происходит так, потому что...»; он говорит «возможно, это происходит так, потому что...». Иногда на один вопрос даётся несколько различных ответов, поскольку нет уверенности в том, что лишь один из них является правильным.

Вопрос об авторстве

Авторству *Механических проблем* посвящено большое количество работ. Традиционно оно приписывалось Аристотелю; такой точки зрения придерживался ещё Пьер Дюгем (Duhem 1905), один из видных знатоков античной и средневековой механики. Поль Таннери (Tannery 1915), основываясь на содержащихся в *Механических проблемах* описаниях вращающихся дисков для священнодействий, предположил, что этот трактат был создан в III в. до н. э. в эллинистическом Египте. В последующем общепринятой стала точка зрения, согласно которой *Механические проблемы* вообще не являются произведением одного автора, но представляют собой сборку извлечений из разных сочинений по механике, выполненную в традициях аристотелевской школы. Фриц Крафт (Kraft 1970), проведя весьма подробный анализ, настаивал на том, что важнейшие разделы трактата принадлежат самому Аристотелю, причём они относятся к юношескому периоду его научной деятельности. Томас Винтер (Winter 2007) приводит доводы в пользу того, что многие части трактата могли

быть созданы Архимедом Тарентским, крупнейшим пифагорейским математиком первой половины IV в. до н. э., о котором известно, что он составил первое сочинение, специально посвящённое механике.

«Природные» и «противоприродные» движения

Автор *Механических проблем*, так же как и Аристотель в *Физике*, говорит о том, что одни движения происходят согласно природе, а другие – вопреки природе. Однако у Аристотеля движение по природе – это прежде всего подъём лёгких тел вверх от центра Земли и падение тяжёлых тел вниз к центру Земли. Автор трактата выделяет другую сторону дела: с помощью различных механических приспособлений человек может «обхитрить природу», подняв малой силой тяжёлый груз.

Чрезвычайно интересна попытка применить противопоставление этих двух видов движения к анализу движения по окружности. Согласно автору трактата, во всяком движении по окружности соединяются два движения: касательное, происходящее по природе, и радиальное, происходящее вопреки природе. К сожалению, из-за краткости описания мы можем лишь догадываться, почему второе движение считается происходящим вопреки природе. Но, во всяком случае, мы видим, что само движение по окружности автор трактата, в отличие от Аристотеля, не считает всецело естественным по причине его геометрического совершенства. Скорее, он склоняется к тому, чтобы считать естественным равномерное и прямолинейное движение, поскольку именно к нему может быть применён принцип параллелограмма перемещений. Упоминает он и мнение некоторых людей, «которые говорят, что линия круга сама по себе всегда пребывает в движении, а останавливается из-за сопротивления».

Основные понятия античной динамики

Для описания динамической стороны механических явлений автор трактата пользуется несколькими основными понятиями. Эти понятия ещё не являются терминами с очерченным значением; скорее, они соответствуют обыденному употреблению слов, относящихся к аналитически нерасчленённому, синкретическому представлению о динамике.

Первое понятие – это βάρος, что означает «груз», «тяжесть», «вес». Это и само тяжёлое тело, и то ощущение тяжести, которое мы испытываем, пытаясь поднять это тело или сдвинуть с места. Из всех понятий античной динамики βάρος является единственным, имеющим статус измеримой величины: мы можем узнать вес тела, поместив его на весы и сравнив с эталонными грузами.

Второе понятие – это ἰσχύς, сила во всех её проявлениях. Сила не является здесь ещё измеримой величиной, хотя понятно, что она может быть большой или слабой. Сила, приложенная к телу, является причиной его движения, поэтому кинематическое рассмотрение движения неотделимо от динамического.

Третье понятие – это δύναμις, каковым словом обозначается способность, мощь, могущество. Из этого понятия впоследствии вырастет понятие мощности. В этом смысле «лошадиная сила», horse power – это, конечно, δύναμις. Чтобы обходиться в переводе одним словом, я буду всюду переводить δύναμις как «мощность»; но читатель должен помнить, что мощностъ здесь является не определённой физической величиной, но понятой более образно и расплывчато «движущей способностью».

Четвёртое понятие – это ῥοπή; это слово означает тягу, склонение, а в общем плане – некий поворотный пункт и решающее обстоятельство. Это существительное образовано от глагола ῥέλω – «склоняться», «тяготеть», «получать перевес». Равновесие двух грузов на весах – это ἰσορροπία, но не следует усматривать здесь «равенства моментов», когда вращающий момент определяется как произведение силы на плечо.

В формулировке проблемы «требуется малой силой сдвинуть большой груз» может стоять и слово ἰσχύς, и слово ῥοπή, и слово δύναμις. В этом смысле они вполне взаимозаменяемы, хотя у каждого есть свой оттенок согласно ситуации их употребления.

Закон рычага

Закон рычага формулируется в *Механических проблемах* так: «Движимый груз относится к движущему в обратном отношении длины к длине. И всегда, чем больше расстояние от опоры [до движущего груза], тем легче двигать. Причина названа выше, и она состоит в том, что более удалённое от центра описывает больший круг. Так что той же самой силой можно двигать тем больший [груз], чем дальше от опоры она отстоит». Здесь мы видим золотое правило механики, сформулированное применительно к рычагу, для которого оно, по видимому, считается вполне очевидным и не требующим дальнейших объяснений. Здесь же можно видеть и принцип возможных перемещений, правда, высказанный в весьма неопределённой форме.

Сложение векторов

Автор *Механических проблем* пользуется в своих рассуждениях сложением перемещений и скоростей в следующей форме: если имеются два равномерных движения, и они в сумме дают третье движение, то в любой момент времени движущаяся точка будет находиться на диагонали параллелограмма, образованного двумя перемещениями, взятыми в какой-то определённый момент времени.

За этой геометрической схемой можно было бы видеть и схему для сложения сил, если бы сами силы мыслились как векторные величины, чего у автора *Механических проблем* ещё нет. Параллелограмм сил появляется в механике лишь в Новое время, в статике наклонной плоскости и верёвочных машин – у Стевина, в динамике – у Ньютона.

Криволинейные углы

Автор *Механических проблем* в нескольких разных местах своего сочинения пытается оперировать с роговидными углами, образованными дугой окружности и её касательной (проблема 8), или с полукруговыми углами, образованными дугой окружности и её диаметром (проблема 24). В частности, в проблеме 8 с помощью сравнения роговидных углов он пытается объяснить, почему из двух круглых тел одинакового веса большее катится легче, чем маленькое.

Вся эта тематика восходит к достаточно раннему этапу развития древнегреческой геометрии, а именно, к обсуждению вопроса о том, касаются ли окружность и прямая друг друга в одной точке или на некотором малом расстоянии. Из свидетельства Аристотеля (*Метафизика* 998a1–4) мы знаем, что второй точки зрения придерживался Протагор, ссылаясь при этом на чувственное восприятие. Ссылки на чувственное восприятие сохранились и в тексте 24 проблемы, хотя сами по себе они там уже не нужны. Таким образом, мы здесь имеем дело с некоей рецепцией учения Протагора.

Парадоксы бесконечного

В 24 проблеме автор обсуждает замечательный механический и математический парадокс, известный под названием «колеса Аристотеля». Пусть круглое колесо катится по прямой линии и разворачивается на полный оборот. Мысленно выделим другой, меньший круг, имеющий тот же самый центр. За один оборот большого круга малый круг также делает один оборот. Как при этом получается, что малый круг разворачивается на прямую линию, равную длине окружности большого круга?

К сожалению, автор не решает той проблемы, которую он сформулировал, хотя он вкратце и говорит о том, что «малое колесо движется без прыжков». Впрочем, его рассуждение выглядит вполне здравомысленным: своим собственным движением катится лишь одно колесо, а второе колесо прикреплено к первому, и у него никакого собственного движения в этой задаче нет.

Текст и переводы

Первый русский перевод *Механических проблем* был сделан В. П. Зубовым; он опубликован в 1940 году в книге *Архитектура античного мира*. Ещё один перевод был сделан И. Н. Веселовским. Его машинописная копия из архива ИИ-ЕТ была доступна многим исследователям и использовалась ими в своей работе, однако сам перевод до сих пор не опубликован.

Настоящий перевод *Механических проблем* сделан по изданию Bekker 1831. В работе использовались также английские переводы Forster 1913, Hett 1936, Winter 2007.

БИБЛИОГРАФИЯ

- Библер, В. С. (1965) «Генезис понятия движения (к истории механики)», Арсеньев А. С., Библер В. С., Кедров Б. М. *Анализ развивающегося понятия*. Москва: Наука.
- Веселовский, И. Н. (1974) *Очерки по истории теоретической механики*. Москва: Высшая школа.
- Григорьян, А. Т., Котов, В. Ф. (1957) «О некоторых вопросах развития античной механики», *Историко-математические исследования*, 10, 671–765.
- Гуковский, М. А. (1947) *Механика Леонардо да Винчи*. Москва–Ленинград: Изд. АН СССР.
- Зубов, В. П. (1962) «У истоков механики», Григорьян А. Т., Зубов В. П. *Очерки развития основных понятий механики*. Москва: Изд. АН СССР.
- Зубов, В. П., пер. (1940) «Механические проблемы Псевдо-Аристотеля», Зубов В. П., Петровский Ф. А. *Архитектура античного мира*. Москва: Изд. Академии архитектуры СССР.
- Apelt, O., ed. (1888) *Aristotelis quae feruntur de plantis, de mirabilibus auscultationibus, mechanica, de lineis insecabilibus, ventorum situs et nomina, de Melisso Xenophane Gorgia*. Leipzig: Teubner.
- Bekker, I., ed. (1831) “Mechanica”, *Aristotelis opera*, II. Berlin: Reimer.
- van Capelle, J. P., ed. (1812) *Aristotelis quaestiones mechanicae*. Amsterdam: Hengst.
- Clagett, M. (1959) *The science of mechanics in the Middle Ages*. Madison: Wisconsin Univ. Press.
- Duhem, P. (1905–1906) *Les origines de la statique*, I-II. Paris: Herrman.
- Drabkin, I. E. (1950) “Aristotle’s wheel: notes on the history of paradox”. *Osiris* 9, 162–198.
- Forster, E. S., trans. (1913) *Mechanica*. Oxford: Clarendon Press.
- Hett, W. S., trans. (1936) “Mechanical problems”, Aristotle, *Minor works*. London: Heinemann; Cambridge (Mass.): Harvard Univ. Press.
- Kraft, F. (1970) *Dynamische und statische Betrachtungsweise in der antiken Mechanik*. Wiesbaden: Franz Steiner Verlag.
- Renn, J., Damerow P., McLaughlin P. (2003) “Aristotle, Archimedes, Euclid, and the origin of mechanics: the perspective of historical epistemology”, *Symposium Arquimedes*, Max Planck Institute for the History of Science, Preprint 239, 43–59.
- Rose, P. L., Drake S. (1971) “The Pseudo-Aristotelian questions of mechanics in renaissance culture”, *Studies of Renaissance*, 18, 67–104.
- Tannery, P. (1915) “Sur les problèmes mécaniques attribués à Aristote”. In: Tannery P. *Mémoires scientifiques*, III, 32–36. Toulouse: Edouard Privat ; Paris: Gauthier-Villars.
- Winter, T. N., tans. (2007) *The Mechanical problems in the Corpus of Aristotle*. Lincoln: Nebraska Univ. Press.

МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ

Удивительным является как то, что происходит по природе и для чего неизвестна причина, так и то, что возникает вопреки природе благодаря искусству

для пользы людей.¹ Природа многое производит против нашей выгоды, ведь она всегда следует по одному пути без отклонений, а выгода часто переменчива. И когда нужно сделать нечто вопреки природе, для преодоления трудностей применяется искусство. Искусство, приходящее на помощь в таких затруднениях, мы называем механическим. Как сказал об этом поэт Антифон: «Мы побеждаем искусством, побеждённые природой».

Таков тот случай, когда меньшее властвует над большим, и когда малым усилием движется большой груз; все такие проблемы мы называем механическими. Они не совпадают с физическими проблемами и не слишком далеко от них отстоят, но имеют нечто общее с математическими и физическими теоремами: ведь математика разъясняет «как», а физика – «что».

К этому роду относятся затруднения, связанные с рычагом. Кажется невозможным малой тягой двигать большие грузы (τὰ ῥοπήν μικρὰν κινεῖ βάρη μεγάλα), тем более связанные с добавочным грузом рычага; однако, если без рычага какой-то груз не может двигаться, то с добавочным грузом рычага он движется легко.

Исходной причиной всего этого является круг. И вот что получается весьма осмысленным: нет ничего необразного в том, чтобы нечто удивительное получалось из ещё более удивительного. Но самое удивительное – это когда противоположности сходятся между собой. Круг сводит их вместе: он прямо рождается из движения и покоя, противоположных по своей природе. И теперь уже не будет таким удивительным то, что в нём сходятся противоположности.

Прежде всего, на охватывающей круг линии, не имеющей ширины, возникают такие противоположности, как вогнутость и выпуклость. Они соотносятся между собой так же, как большое и малое: там средним будет равенство, а здесь прямизна. Переходя из одного в другое, каждое из них по необходимости сначала становится равным, и только потом переходит в другую крайность; так линия становится прямой и при переходе от выпуклой к вогнутой, и на обратном пути, когда она делается выпуклой и округлой.

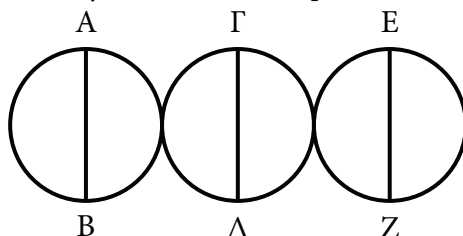
Таково одно из затруднений, связанных с кругом; а второе состоит в том, что круг сразу же движется противоположными движениями: ведь он сразу же перемещается и вперёд, и назад. Возьмём линию, описывающую круг. Из какого места начинает движение её конец, в то же самое место он возвращается снова. В силу непрерывности движения его завершение вновь становится началом, и ясно, как происходит переход.

А поэтому, как уже было замечено, нет никаких трудностей в том, что всё удивительное берёт своё начало в круге. Происходящее с весами объясняется с помощью круга; происходящее с рычагом – посредством весов; всё прочее, относящееся к механическому движению – посредством рычага.

¹ Противопоставление движений «по природе» и «вопреки природе» характерно для аристотелевской физики. Но вопрос о том, было ли оно впервые введено самим Аристотелем или кем-то из его предшественников, остаётся открытым.

В круге не только две точки на одном удалении от центра движутся с равными скоростями, но вдобавок ещё и та, которая удалена на большее расстояние, всегда движется быстрее. Много удивительного связано с движением круга, что проявится в следующих проблемах.

Поскольку круг сразу же движется двумя противоположными движениями, и поскольку один конец диаметра А движется вперёд, а другой конец В движется назад, некоторые люди считают, что в одном движении многие круги сразу же движутся противоположно, как колёса из меди и железа, применяемые в священнодействиях. Пусть имеется круг АВ и другой касающийся его круг ГД; тогда если диаметр АВ движется вперёд, то диаметр ГД движется назад, поскольку диаметр движется вокруг одного [центра]. И опять, касаясь EZ, по той же причине он будет двигать его вперёд. Это же будет происходить и в случае многих кругов, когда один из них приведён в движение. Создатели устройств скрыли это начало, присущее кругу по его природе, так что в механизмах видно только нечто удивительное, а причина неясна.



Проблема 1

Первыми стоят затруднения, относящиеся к весам, и причина, по которой большие весы точнее малых. Для начала, почему в круге линия, дальше отстоящая от центра, движется быстрее, чем та, которая находится ближе, если двигать её с той же силой? ²

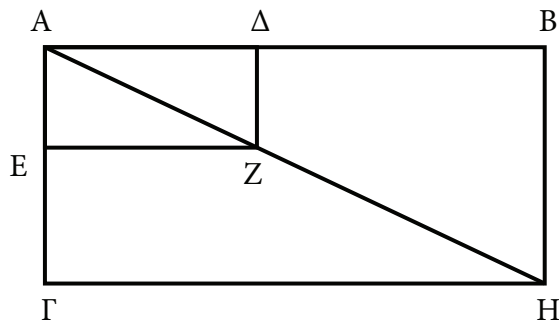
Мы говорим «быстрее» в двух смыслах: если за меньшее время проходит равное расстояние, и если за равное время проходит меньшее расстояние. Большая линия за равное время описывает больший круг: ведь внешний круг больше внутреннего.

Причина этого заключена в том, что описывающая круг линия переносится двумя перемещениями. Если перемещения состоят между собой в некоем отношении, то перенос по необходимости происходит по прямой, и эта прямая линия является диагональю фигуры, которую произвели две линии, состоящие в указанном отношении.

Пусть перемещения относятся как АВ к АГ; и пусть А переносится в В, и АВ соотносено с ГН. Пусть также А переносится в Д, и АД соотносено с EZ. Если перемещения относятся как АВ к АГ, то тогда и АД к АЕ по необходимости будет иметь это же отношение. Малый параллелограмм будет подобен боль-

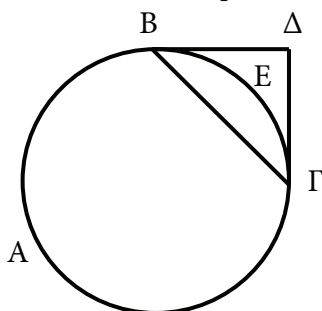
² Кинематический вопрос получает здесь динамическую трактовку: круг движется не сам по себе, но потому что к нему приложена некая сила.

шому, и они будут иметь общую диагональ, так что А перейдёт в Z. Таким же образом происходит и любой другой перенос, и результат всегда лежит на диагонали. Ясно, что два переноса с необходимостью дают перенос по диагонали, если они соотносятся между собой как стороны. Ведь если они имеют какое-нибудь иное отношение, то и перенос не происходит по диагонали.



Если же два переноса не состоят между собой ни в каком отношении в течение никакого времени, то невозможно, чтобы результирующий перенос произошёл по диагонали. Допустим, что он произошёл по прямой. Если установлена диагональ и восполнены стороны, то тогда перенос по необходимости произойдёт в соответствии с отношением сторон. Это показано выше. А если переносы не состоят между собой ни в каком отношении в течение никакого времени, прямая производиться не будет. Ведь если имеется некое отношение в течение некоторого времени, то в течение этого времени перенос по необходимости будет происходить по прямой, как показано выше. Так что, если возникает окружность, то переносы не имеют между собой никакого отношения в течение никакого времени.

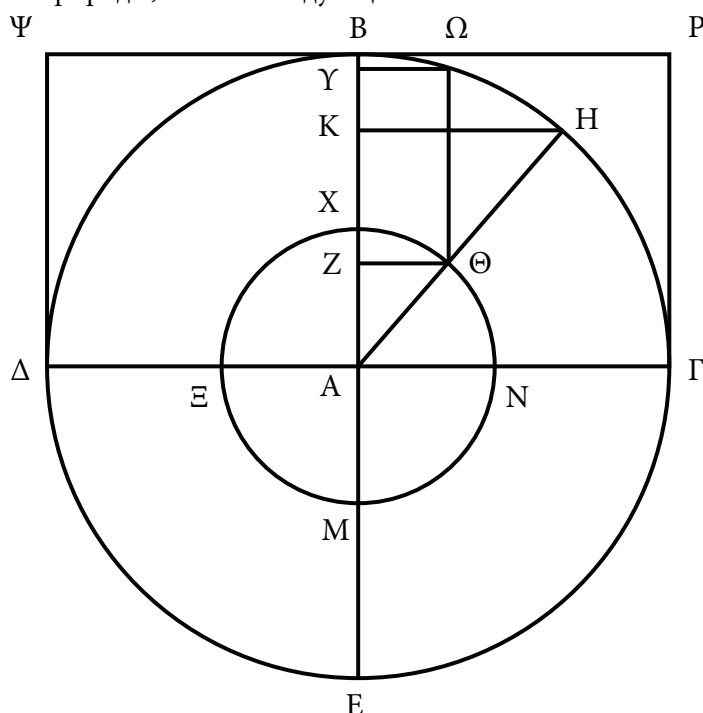
То, что линия, описывающая круг, порождается сразу двумя переносами, ясно из того, что переносимое по прямой прикладывается к перпендикуляру, и этот перпендикуляр проведён к радиусу. Пусть имеется круг АВГ, и пусть его край В переносится в Δ, а потом переносится в Г. Если бы перенос шёл в отношении, которое имеет ВΔ к ΔГ, то тогда он происходил бы по диагонали ВГ. Но поскольку здесь нет никакого отношения, перенос идёт по дуге окружности ВЕГ.



Если из двух [тел], переносимых одной и той же силой, одно отклоняется больше, а другое меньше, разумно считать, что отклоняющееся больше движется медленнее отклоняющегося меньше. И похоже, что так обстоят дела в

случае большего и меньшего радиусов круга. Поскольку конец меньшего радиуса расположен ближе к неподвижной точке, нежели конец большего радиуса, в своём обратном движении вокруг середины меньший конец движется медленнее.

И вот что происходит со всякой линией, описывающей круг: движение по природе идёт по окружности, а против природы – вбок и к центру.³ И всегда у большего радиуса перемещение против природы оказывается меньшим. А более близкий к центру конец радиуса отклоняется больше. И то, что менее удалённый от центра конец радиуса при описании круга в большей степени движется против природы, ясно из следующего.



Пусть имеется круг ВГЕД, и ещё один меньший круг ХНМЕ с тем же центром А. Проведём диаметры ГД и ВЕ в большем круге, МХ и НЕ в меньшем круге. Построим разносторонний прямоугольник ΔΨΡΓ. Если радиус АВ описывает полный круг, проходя через АЕ, ясно, что он возвращается к своему исходному положению. Точно так же и АХ возвращается в АХ. При этом АХ переносится медленнее, чем АВ, и, как сказано выше, производит большее отклонение. Чтобы доказать это, я проведу радиус АΘН, и из Θ опущу на АВ перпендикуляр ΘΖ. Далее из Θ параллельно АВ я проведу ΘΩ, и опущу на АВ перпендикуляры ΩΥ и НК. Отрезки ΩΥ и ΘΖ равны между собой, и ВΥ меньше ХΖ. Ведь если в неравных кругах проведены равные отрезки под прямым углом

³ Здесь ещё раз вводится противопоставление движений «по природе» и «против природы».

к диаметру, то меньший отрезок будет отсечён от диаметра в большем круге, но ΩY равен ΘZ .

Далее, пусть за какое время радиус $A\Theta$ пройдёт дугу $X\Theta$, за такое же время в большем круге радиус BA пройдёт дугу $B\Omega$. Тогда переносы по природе будут равными, а перенос против природы будет меньшим: ведь $B\Upsilon$ меньше ZX . Должна иметь место пропорция: как относятся между собой переносы по природе, так относятся между собой и переносы против природы. Дуга $H\Gamma$ развёрнута больше дуги ΩB . Дуга $H\Gamma$ по необходимости разворачивается в такое же время. Она будет такой же, поскольку в пропорции отношение по природе совпадает с отношением против природы. Если происходящее по природе будет большим в большем круге, то и происходящее против природы будет меньшим единственным образом, так что B пройдёт дугу BH вместе с точкой X . Точка B , вращаясь вокруг центра, по природе пройдёт перпендикуляр, опущенный из H , против природы – отрезок KB . И как $H\Gamma$ относится к KB , так ΘZ относится к ZX . Ясно, что при этом BX переходит в $H\Theta$. Если же дуга $H\Gamma$, пройденная точкой B , будет большей или меньшей, то уже не будет пропорции в том, что пройдено по природе и против природы. По этой причине одной и той же силой быстрее переносится та точка, которая находится ближе к центру, что ясно из вышеизложенного.⁴

А почему большие весы точнее маленьких, ясно из следующего. Подвес становится центром (поскольку он неподвижен), и каждая часть коромысла – расстоянием от центра. Отсюда один и тот же вес с необходимостью движется быстрее на том конце коромысла, которое дальше отстоит от подвеса, и иногда на малых весах приложение веса не будет ясным для чувственного восприятия, а на больших будет. Ведь здесь ничто не мешает меньшему двигать большее, и это очевидно для зрения. На большом коромысле действие, производимое весом той же самой величины, становится видимым для зрения. Действие некоторых грузов будет заметно на обоих коромыслах, но в большинстве случаев оно будет заметнее на коромысле большей величины, поскольку величина усилия для того же веса становится здесь большей. И поэтому торговцы пурпуром применяют устройство со смещением, в котором подвес расположен не посередине и к одному из плеч прикреплен свинец, или ствол с корнем, чтобы получить перевес, или с узлом, если такой имеется: ведь часть с корнем тяжелее ствола, и узел есть некий корень.

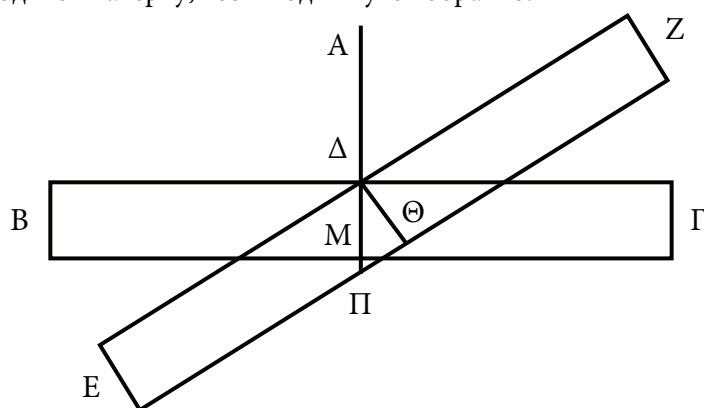
Проблема 2

Почему, если подвес находится сверху, когда убран тянущий вниз груз, весы поднимаются назад, а если опора находится снизу, то не поднимаются, но остаются на месте? Не потому ли, что при верхнем подвесе большая часть ве-

⁴ Это доказательство равным счётом ничего не доказывает. Однако в нём можно рассмотреть в зародыше те рассуждения, которые впоследствии у Гюйгенса приводят к понятию центробежной силы.

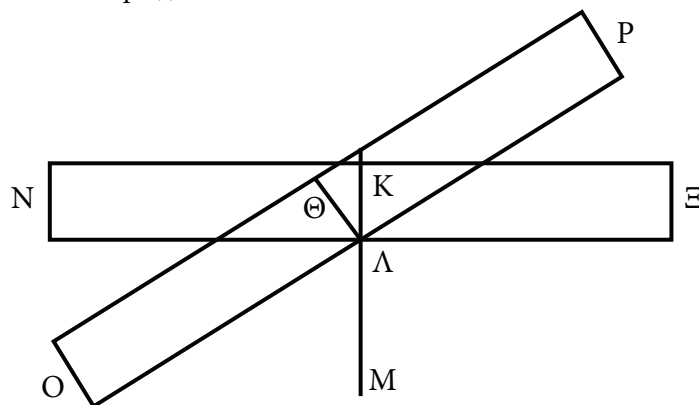
сов оказывается по ту же сторону вертикали? Ведь подвес – это вертикаль. Так что, когда груз будет снят со своей части весов, большее по необходимости будет тянуть вниз, пока не получится, что линия, разделяющая весы пополам, не окажется на отвесе.

Пусть ВГ – весы в горизонтальном положении, АΔ – отвес. Продолжим отвес по линии АДМ. Если к плечу В приложить усилие, В перейдёт в Е и Г перейдёт в Z, так что линия ΔМ, прежде делившая весы пополам по вертикали пополам, при приложении усилия перейдёт в ΔΘ. При этом часть весов EZ снаружи от вертикали АП будет больше половины. Если снять вес с плеча Е, плечо Z по необходимости опустится вниз: ведь Е теперь будет меньшим. Тем самым, если подвес находится наверху, весы поднимутся обратно.⁵



Если же опора находится снизу, произойдёт обратное. Опустившаяся часть станет больше половины весов, отделённой по отвесу, и поэтому она не поднимется обратно: ведь поднявшееся будет легче.

Пусть НЕ – весы в горизонтальном положении, КЛМ – отвес, который делит НЕ пополам. Подвесим груз на плечо N, так что N перейдёт в О и Е перейдёт в Р, и КЛ перейдёт в ΛΘ, так что КО будет больше ΛР на ΘΚΛ. И при снятии груза весы по необходимости останутся неподвижными, поскольку избыточный вес теперь добавился к половине.

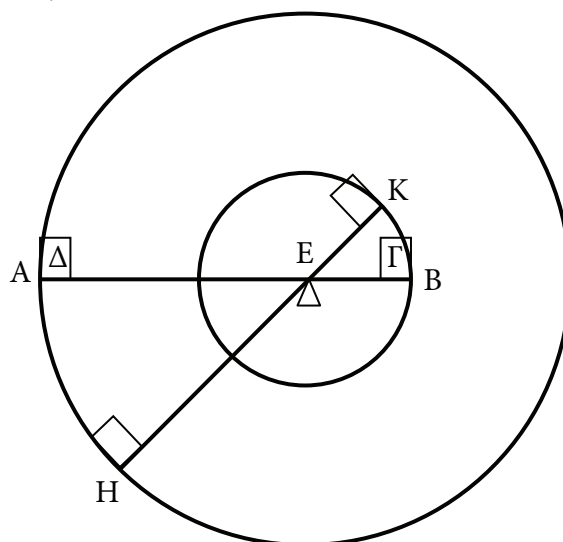


⁵ Понятия центра тяжести, введённое Архимедом, автору трактата ещё не знакомо.

Проблема 3

Почему с помощью рычага большие грузы движутся малыми мощностями (κινουῖσι μεγάλα βάρη μικραὶ δυνάμεις), даже если, как сказано вначале, к нему добавлен груз рычага? Казалось бы, легче двигать меньший вес, а без рычага он будет меньше. Не будет ли причиной то, что рычаг – это весы, имеющие подвес и разделенные на неравные части? Нижняя опора заменяет здесь подвес: оба они покоятся, будучи центром.

Когда большой радиус движется быстрее с тем же самым грузом, имеются три вещи, связанные с рычагом: опора, она же центр и подвес, а также два груза, движущий и движимый. Движимый груз относится к движущему в обратном отношении длины к длине. И всегда, чем больше расстояние от опоры [до движущего груза], тем легче двигать. Причина названа выше,⁶ и она состоит в том, что более удалённое от центра описывает больший круг. Так что той же самой силой (ἀπὸ τῆς αὐτῆς ἰσχύος) можно двигать тем больший [груз], чем дальше от опоры она отстоит. Пусть имеется рычаг АВ, движимый груз Г, движущий груз Δ, опора Е. Когда движущий груз Δ переходит в Н, движимый груз Г переходит в К.



Проблема 4

Почему средние гребцы движут корабль быстрее? Не потому ли, что весло – это рычаг? Опорой становится уключина (ведь она неподвижна), груз – это море, отталкиваемое веслом, и рычаг приводится в движение гребцом. Груз всегда движется тем больше, чем дальше движущий груз отстоит от опоры; тут он больше, нежели в центре, и центром служит опора уключины. В средней части корабля внутренняя часть весла длиннее всего, ведь корабль здесь шире всего, так что он вмещает внутри себя большую часть весла по обоим бортам. Корабль движется вперед от усилий, приложенных к вёслам, тогда как наруж-

⁶ Проблема 1.

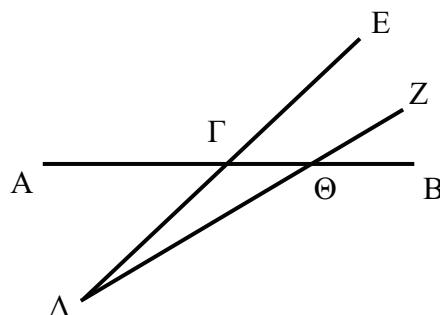
ные концы вёсел упираются в море. Корабль подталкивается концами вёсел с помощью уключин. И чем сильнее весло упирается в море, тем быстрее корабль по необходимости продвигается вперёд. Но большее разделение там, где находится большая часть весла, начиная от уключины. Поэтому средние гребцы движут корабль быстрее. Ведь в середине корабля внутренние части вёсел, начиная от уключины, являются самыми длинными.

Проблема 5

Почему малое кормило, находящееся на конце судна, хотя оно имеет большую рукоять и спокойно приводится в движение одним человеком, движет судно большой величины? Может быть потому, что кормило – это рычаг, движимый кормчим? Где оно прикреплено к судну, там возникает опора; всё весло – это рычаг, груз – это море, и кормчий – движитель. И кормило загребаёт море не в ширину, как весло. Оно движет судно не вперёд, но косо, принимая море наискось. Ведь если море – это груз, то судно упирается в него наискось. Опора поворачивается так, что море движется внутрь, а судно наружу; и так оно разворачивается.

Весло толкает груз в ширину и продвигает его в прямом направлении; кормило, будучи установленным косо, создаёт движение наискось. Оно установлено на конце, а не в середине, так что легко движет движимое за его конец. Быстрее всего движется первая часть, поскольку движение быстрее всего завершается в движимом, после чего оно ослабевает и в том, что с ним соединено. А ослабевшее легко толкать. Поэтому кормило находится на корме, поскольку на конце малое движение производит гораздо большее расстояние. Ведь при равенстве углов то, что дальше отстоит от центра, производит большую дугу.

Отсюда же ясно, по какой причине судно проходит вперёд больше, чем лопасть весла проходит назад: ведь одна и та же величина, движимая одной и той же силой, пройдёт в воздухе больше, чем в воде. Пусть АВ – весло, Г – уключина, А – конец весла на корабле, В – в воде. Если А передвинется в Δ, В не перейдёт в Е: ведь ВЕ равно АД. Передвижения не будут равны, но второе будет меньше, и В перейдёт в Z. Так что АВ будет поворачиваться вокруг Θ – не вокруг Г, но ниже. Ведь ВZ меньше АД, так же как ΘZ меньше ΔΘ, поскольку треугольники подобны. И середина Г тоже будет двигаться. Конец В будет двигаться в сторону, противоположную морю, и конец весла на судне А не перейдёт в Δ. Так перемещается судно, и так перемещается начало весла.



Так же действует и кормило, разве что, как сказано выше, оно не продвигает судно вперёд, но только толкает корму то туда, то сюда, так что нос плывёт в противоположном направлении. О месте, в котором установлено кормило, надлежит думать как о некоей середине движимого, как будто это уключина весла: середина отходит, когда рукоять перемещается. Если оно идёт внутрь, то и корма перемещается в эту же сторону, а нос плывёт в противоположную, так что всё судно в целом перемещается туда же, куда и его нос.

Проблема 6

Почему, когда рея установлена выше, судно плывёт быстрее под тем же парусом и с тем же ветром? Не потому ли, что мачта – это рычаг, палуба – опора, судно – перемещаемый груз, а дующий в парус ветер – это движитель? Но чем дальше опора, тем легче и быстрее движется тот же груз под действием той же мощности. Так что более высокая установка реи удаляет парус от палубы, а палуба служит опорой.⁷

Проблема 7

Почему, когда хотят плыть по ветру, кормчий устанавливает парус не так, чтобы ветер дул поперёк паруса, но частично по ветру, частично же так, чтобы булинь был оттянут к носу? Может быть потому, что рулевое весло не может отклонять всю силу ветра, малую же часть отводит? Пусть ветер дует вперёд, рулевое весло поставлено по ветру, и если тянуть его, оно упирается в море, как рычаг. Вместе с ним и матросы противостоят ветру, наклоняя корабль в противоположную сторону.

Проблема 8

Почему тела с закруглённой и округлой фигурой хорошо передвигать? Круг можно вращать трояко: по ободу, перемещая его вместе с центром, как катится колесо повозки; только вокруг центра, как ворот с неподвижным центром; вдоль плоскости, с неподвижным центром, как вращается гончарный круг. Если они вращаются быстро, то касаются плоскости в малом, как круг в точке, и

⁷ Объяснение, конечно же, несостоятельно: в смысле рычага такая установка паруса будет лишь сильнее зарывать корабль носом в волну. А увеличение скорости связано в большей степени с тем, что ветер внизу у воды «зацепляется» за волны и дует слабее, чем наверху.

поэтому не соударяются: ведь угол отклоняется от земли.⁸ И сталкиваясь с каким-либо телом, они соприкасаются лишь незначительно. Если же фигура прямолинейна, то она касается плоскости по всей прямой.

С какой стороны перетягивает груз, туда и движется движущееся. Поскольку диаметр круга перпендикулярен плоскости, и круг касается плоскости в точке, то по обе стороны от диаметра находятся равные грузы. Так что куда потянешь круг, прямо туда он и будет двигаться, как на весах. Поэтому его легко двигать, ведь куда его не потяни, он хорошо покатится, подобно тому как весы склоняются в обе стороны. Некоторые говорят, что линия круга сама по себе всегда пребывает в движении, а останавливается из-за сопротивления.⁹

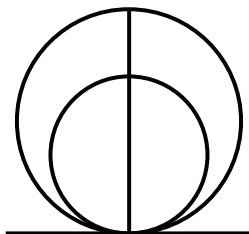
Большой круг главенствует над меньшим: при равном усилии большой круг движется быстрее, и грузы движутся из-за некоей тяги, которую даёт угол при большем и при меньшем круге, а эти углы относятся, как диаметр к диаметру.¹⁰ Но всякий круг будет большим в сравнении с меньшим, и меньшие круги идут до бесконечности. Если один круг имеет перевес над другим, то оба они прекрасно двигаются. И если перевес имеет другой круг, то первый круг движется вторым кругом.

И соприкосновение с плоскостью может происходить не по ободу, но в самой плоскости, как в случае ворота. Ведь он и сам двигается легко, и с его помощью легко движется груз. Здесь это происходит не из-за малого соприкосновения, но по другой причине. Как уже было сказано, круг производит два движения, и одно из них всегда связано с тягой.¹¹ И тот, кто его движет, всегда делает это на его окружности. Но даже когда его двигают сбоку, он движется по диаметру.

Проблема 9

Почему с помощью больших кругов легче и поднимать грузы, и опускать их, и двигаются они быстрее? То же самое имеет место и для больших и малых

⁸ Здесь говорится о рогообразном угле касания, который образуют между собой прямая линия земли и поднимающаяся от точки касания дуга катящегося по земле круга.



⁹ Важное свидетельство, относящееся к исходным представлениям об инерциальном движении.

¹⁰ Здесь говорится о подобии рогообразных углов, образованных прямой и двумя окружностями.

¹¹ Проблема 1.

воротов, и для катков. Не потому ли, что чем больше расстояние от центра, тем большее расстояние проходится за равное время, и равные грузы производят одно и то же? Об этом мы говорили, когда обсуждали, почему большие весы точнее малых.¹² Ведь подвес – это центр, и весы на подвесе, как в центре.

Проблема 10

Почему легче двигать весы, когда на них нет грузов, чем когда они загружены? Схожим образом и большое колесо или что-то схожее с ним двигать тяжелее, а малое – легче. И не только против груза, но и если двигать что-то малоподвижное сбоку. Трудно двигать против тяги, а в ту же сторону – легче; но сбоку нет перевеса.

Проблема 11

Почему тяжёлые грузы легче перевозятся на валках, чем на телегах, хотя у телег большие колёса, а валки маленькие? Не потому ли, что у валков не происходит спотыканий (πρόσκοψις), а у телег имеется спотыкание об оси колёс, поскольку они прижаты к ним сверху и сбоку? Валки перекатываются двояко, по лежащему снизу пространству и под лежащим сверху грузом; и круг перекатывается по обоим этим местам, так что получается движение вперёд.

Проблема 12

Почему метательные снаряды посылаются дальше пращей, чем рукой? Кажалось бы, рукой можно метать сильнее, чем раскручивая груз. Ведь в последнем случае приходится двигать два груза, пращу и снаряд, а в первом случае только снаряд. Может быть, потому, что пращей бросается движущийся снаряд (он запускается после того, как сделает много оборотов), а при броске рукой он вначале пребывает в покое? И лучше двигать уже движущееся, чем покоящееся.¹³ Или же потому, что при метании пращей рука оказывается центром, а праща – радиусом; но то, что дальше удалено от центра, движется быстрее. И бросок рукой короче броска пращей.

Проблема 13

Почему одну и ту же лебёдку легче двигать большой, нежели малой рукояткой, и одной и той же силой легче двигать тонкий ворот, нежели толстый? Не потому ли, что ворот и лебёдка являются центром, и величины расстояний от центра здесь будут больше? Одной и той же силой быстрее и больше движется то, что идёт по большому кругу, чем по малому. Ведь одной и той же силой быстрее переносится край, удалённый от центра. Для того к лебёдкам и приделывают рукоятки, чтобы они легче вращались. И у тонких воротов большим будет то, что находится снаружи барабана, то есть расстояние от центра.

¹² Проблема 1.

¹³ Ещё одно представление об инерции: мы приводим тело в движение не сразу, но постепенно.

Проблема 14

Почему палку одной и той же величины легче переломить о колено, когда мы берём её в руки ровно у краёв, чем вблизи от колена? А если поставить её на землю, прижать ступнёй и ломать рукой, это будет легче сделать, когда рука отстоит от ступни далеко, а не близко. Не потому ли, что колено является центром, и ступня тоже? Но дальше от центра всегда легче двигать. А чтобы сломать, надо двигать.

Проблема 15

Почему галька на морском берегу является округлой, хотя изначально она была большими камнями и обломками? Не потому ли, что части, более удалённые от середины, в движении переносятся быстрее? Середина становится центром, а расстояние от неё – радиусом. Но большее при равном движении всегда описывает больший круг. И за равное время большее быстрее переносится. А то, что быстрее переносится на равное расстояние, сильнее бьёт. Оно сильнее бьёт и само сильнее бьётся. Так что по необходимости то, что больше отстоит от центра, сильнее отламывается. И поэтому оно по необходимости становится округлым. Обломки движутся то в море, то из моря, и в таком катании они всегда бьются друг о друга. При этом они по необходимости всегда сталкиваются своими краями.

Проблема 16

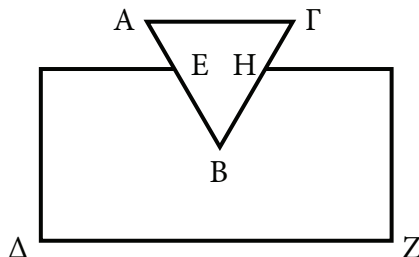
Почему, чем длиннее палка, тем она податливей становится и больше гнётся при нажиме, даже если короткая палка в два локтя будет тонкой, а длинная в сто локтей – толстой? Не потому ли, что здесь возникают рычаг, и груз, и опора, если только палку поднять на всю её длину? Первая часть, находящаяся в поднявшей руке, становится опорой, а концевая – грузом. И чем больше расстояние от опоры, тем большим с необходимостью будет прогиб. Насколько больше конец отстоит от опоры, настолько большим с необходимостью будет прогиб. Нужно только поднять концы рычага, и если рычаг будет гибким, тогда он обязательно согнётся больше. Это и происходит с длинными палками; а в коротких конец близок к опоре, и прогиб незначителен.

Проблема 17

Почему малым клином раскалываются тяжёлые грузы и большие тела, и создаётся сильное давление? Не потому ли, что клин – это два противоположных рычага, и для каждого из них груз является точкой опоры, и они разламывают и давят?¹⁴ Нанесённый удар бьёт и двигает груз, производя многое; и действие силы увеличивается, когда она двигает то, что уже движется. Таким образом из малой мощности получается многое: благодаря скрытому движению её величина возрастает.

¹⁴ Объяснение неверное, хотя на первый взгляд оно и выглядит убедительным.

Пусть $ABΓ$ – клин, $ΔΕΖ$ – то, что расклинивается. AB становится рычагом, снизу под B находится груз, $ZΔ$ будет опорой. Противоположный рычаг – это $BΓ$. При ударе по $AΓ$ обе стороны становятся рычагами, и происходит разрыв в B .



Проблема 18

Почему, если некто устроит два валка на двух брусках, охватит оба валка по кругу канатом и приделает подвеску к каждому из брусков, так что один из них будет закреплён, а другой соединён к грузом, и потянет затем за конец каната, то он сдвинет большой груз малой силой? ¹⁵ Не потому ли, что один и тот же груз двигается меньшей силой с помощью рычага, нежели рукой? Валок сам по себе создаёт рычаг, и даже с помощью одного валка легче тянуть, и даже одним валком можно сдвинуть много больший груз, чем рукой. А два валка будут тянуть с более чем двойной быстротой. Второй валок, когда к нему протянут канат от первого валка, тянет меньше, чем если бы он тянул сам по себе: ведь уже первый валок уменьшает тяжесть. А когда канат переброшен через много валков, разница становится весьма большой, так что если к первом валку прикреплён груз в четыре мины, на последнем он делается много меньшим. Таким образом в строительном деле облегчается передвижение грузов: они перемещаются с помощью валков, и снова каждый из них становится воротом и рычагом, когда всё это производится многими валками.

Проблема 19

Почему, если установить на чурбан большой топор и положить на него большой груз, чурбан не расколется, каким бы ни было отношение между ними? Если же поднять топор и ударить им, то чурбан расколется, хотя вес топора будет много меньше, нежели вес упомянутого груза. Не потому ли, что всё действует через движение, и один груз движет другой лучше, когда второй груз движется, а не покоится? Когда топор стоит неподвижно, он не движет груз, а когда движется, он его раскалывает. Здесь снова получается раскалывающий клин: ведь малый клин раздвигает многое, представляя собой два противоположных рычага, соединённых вместе.

Проблема 20

Почему на фалангах для взвешивания мяса при малом довеске уравновешивается большой груз, так что целое находится в равновесии? Там, где подвешивается

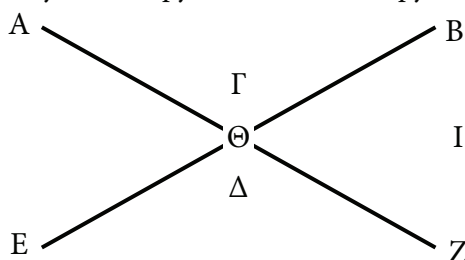
¹⁵ Здесь описана система из подвижного и неподвижного блока.

ваются груз, находится только чаша весов, а с другой стороны находится только фаланга. Не потому ли, что фаланга представляет собой весы и рычаг? Это такие весы, в которых всякий подвес становится центром фаланги. На одной стороне весов находится чаша, а на другой вместо чаши приделано ядро, и получаются весы, как если бы на конце рычага были прикреплены другая чаша и груз; и ясно, что этот груз тянет другую чашу. Таким образом в одних весах совмещаются много весов, поскольку у этих весов имеется много подвесов, и для каждого из них расстояние до ядра становится половиной фаланги, и для уравнивания другого груза подвес перемещается, чтобы соразмерять величину груза, положенного на чашу весов. При этом следят за тем, чтобы фаланга стояла прямо, и по расстоянию от подвеса находят, какой величины груз лежит на чаше. Целое – это весы с одной чашей, на которой установлен груз, а с другой стороны находится вес фаланги, создаваемый ядром. Причём здесь имеется много весов, поскольку имеется много подвесов. И всегда, если подвес близок к чаше и помещённому на неё грузу, этот груз будет большим, потому что уравнивающим грузом становится вся фаланга (опора – это всякий подвес, а груз находится на чаше). И чем больше будет длина рычага до опоры, тем легче будет его двигать. Это производится грузом, а также добавленным к ядру весом фаланги.

Проблема 21

Как получается, что врачи легче вырывают зубы с помощью дополнительного груза зубных щипцов, нежели одной рукой? Разве зубы не легче выскальзывают из зубных щипцов, чем из руки? Казалось бы, железо скользит лучше руки и не охватывает зуб со всех сторон, а у пальца мягкая плоть, и он лучше удерживается и прилаживается. Может быть, так происходит потому, что зубные щипцы – это два противоположных рычага, имеющие одну опору в перекрестье, и зуб легче извлекать, пользуясь этим инструментом?

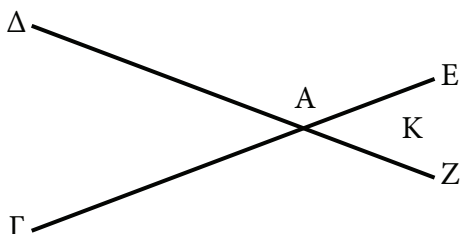
Пусть один конец зубных щипцов – это А, другой конец для вырывания – В; и один рычаг АΔΖ, другой рычаг ВΓЕ, опора ΓΘΔ, соприкосновение с зубом I, и это груз. Врач зажимает зуб обоими концами ВΖ и дёргает его. И такое движение сделать легче, пользуясь инструментом, нежели рукой.



Проблема 22

Почему орехи легко колоть с помощью сделанного для этого инструмента? Ведь для этого нужно прикладывать большую силу. Разве для этого не требует-

ся что-то твёрдое и тяжёлое, а не лёгкий деревянный инструмент? Не потому ли, что орех сжимается с двух сторон двумя рычагами, а груз легче дробить рычагом? Этот инструмент состоит из двух рычагов и опоры в их пересечении А. Пусть они начерчены; если сдвинуть концы ГΔ, то концы EZ сдвинутся легко и малой силой. Нажатие здесь будет сильнее, чем там, поскольку ЕГ и ZΔ – это рычаги. Поднимая здесь, поднимают и с другой стороны, и нажимают в К. Чем ближе А к К, тем быстрее расколется орех. Ведь чем дальше отстоит рычаг от опоры, тем легче и тем больше он движется той же силой. А – это опора, ΔAZ и ΓAE – рычаги. Чем ближе К находится к углу А, тем ближе сходжение в А, поскольку это опора. И по необходимости для одной и той же силы стягивание в ZE будет большим. Но поскольку за поднятием следует противоположное ему, оно по необходимости больше сжимает; а более сжатое быстрее колется.

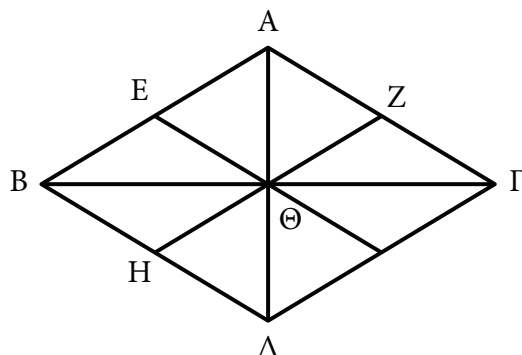


Проблема 23

Почему, когда обе вершины ромба переносятся двумя движениями, они не прочерчивают равные линии, но одна из этих линий кратна другой? Не такое ли рассуждение получается, когда переносимое вдоль стороны проходит меньше стороны? Ведь диагональ будет меньше, а сторона больше, хотя сторона получается одним переносом, а диагональ двумя.

Пусть А переносится к В вдоль АВ, и В переносится к Δ с той же скоростью; при этом сторона АВ с той же скоростью переносится к ГΔ вдоль АГ. По необходимости А переносится вдоль диагонали АΔ, и В переносится вдоль ВГ, так что каждая из них развёртывается, когда сторона АВ переносится вдоль АГ. Пусть точка А пройдёт отрезок АЕ, и сторона АВ пройдёт отрезок AZ, так что будет начерчена линия ZH вдоль АВ, и она восполнится от Е. Получившееся восполнение будет подобно целому. Ведь AZ равна АЕ, поскольку А переносилась вдоль стороны АЕ, и сторона АВ переносилась вдоль AZ. Так что точка А окажется на диагонали в Θ. И по необходимости она всегда будет переноситься по диагонали. Сторона АВ идёт по стороне АГ, и в это же время точка А идёт по диагонали АΔ. Подобно этому и точка В переносится по диагонали ВГ. Ведь ВЕ равна ВН. Восполняясь от Н, наружное подобно целому. Точка В пребывает на диагонали благодаря соединению сторон, ведь сторона идёт по стороне и точка В идёт по диагонали ВГ. За то же самое время точка В пройдёт расстояние ВГ, кратное АВ, и сторона пройдёт меньшую сторону, двигаясь с той же самой скоростью, и сторона, переносимая одним переносом, пройдёт больше

точки А. И чем острее будет ромб, тем меньше будет диагональ АΔ, и тем больше будет диагональ ВΓ, так что сторона ромба будет меньше ВΓ.



Кажется невозможным, как уже было сказано, чтобы переносимое двумя движениями двигалось медленнее, чем переносимое одним, и чтобы из двух точек, движущихся с равными скоростями, одна прошла больше другой. Причина же этой неясности в том, что переносы – а именно, сам перенос и добавочный перенос по стороне – получаются почти противоположными, когда угол между ними оказывается острым:¹⁶ здесь стороны сонаправлены с диагональю. И если сделать один угол ещё острее, а другой – ещё тупее, то один перенос будет идти ещё медленнее, а другой – ещё быстрее. Ведь чем тупее будет угол, тем более противоположными станут одни линии, и тем более сонаправленными станут другие. Ведь точка В переносится обоими переносами почти в одну сторону, так что один из них сонаправлен с другим, и чем острее угол, тем в большей степени. Ну а точка А переносится в противоположные стороны: сама она переносится в направлении В, а сторона дополнительно переносится в направлении Δ. И чем тупее будет угол, тем более противоположными будут переносы, поскольку линия при этом будет выпрямляться. И когда целое станет прямым, они сделаются совершенно противоположными. При отсутствии отклонения сторона переносится одним переносом. И разумно, что при этом проходится большее.

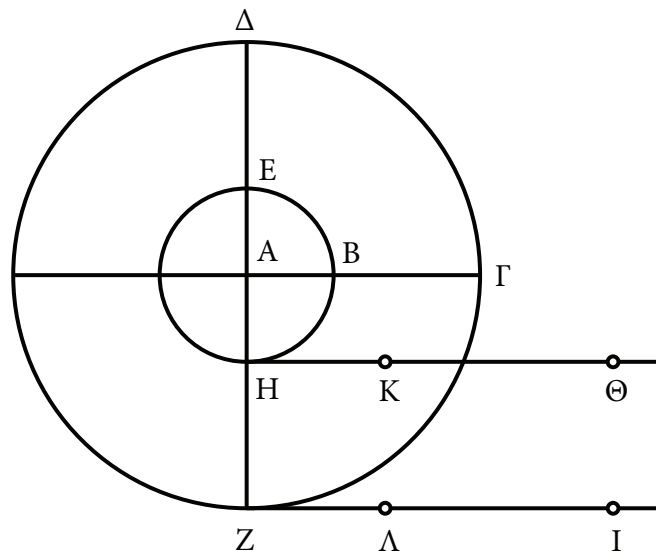
Проблема 24

Недоумевают, почему большой круг разворачивается в равную с малым кругом линию, когда они соединены в одном центре? Если они разворачиваются порознь, то как относятся величины кругов, так относятся и линии. А если оба круга имеют один общий центр, то какую линию разворачивает большой круг, такую же линию разворачивает и малый круг.

Очевидно, что большой круг разворачивает большую линию. Из чувственного восприятия понятно, что угол между окружностью и диаметром в боль-

¹⁶ Мы бы сказали в аналогичной ситуации, что угол между двумя векторами оказывается тупым. Но для автора *Механических проблем* переносы вдоль сторон АВ и ВΔ образуют между собой острый угол АВΔ.

шем круге больше, в меньшем – меньше.¹⁷ Чувственное восприятие ясно показывает, что то же самое отношение имеют между собой линии развёртки. Но столь же ясно, что оба круга разворачивают равные линии, когда они имеют общий центр. И получается, что равные линии разворачивают и большой круг, и малый.



Пусть будет большой круг $\Delta Z\Gamma$, малый круг ΕΗΒ , общий центр A . И пусть большой круг сам по себе развёртывает линию ZI , а малый круг сам по себе развёртывает линию HK , равную $Z\Lambda$. Двигая малый круг, я двигаю тот же самый центр A . Прикреплю к нему больший круг. Когда AB станет перпендикулярным к HK , тогда же $A\Gamma$ станет перпендикулярным к $Z\Lambda$, так что всегда будут равны развёртка HK и дуга $H\text{В}$, развёртка $Z\Lambda$ и дуга $Z\Gamma$. Если равным образом развернулись четвёртые части, то ясно, что равным образом развернутся и целые круги. Так что как линия $H\text{Н}$ развернётся до K и дуга $Z\Gamma$ развернётся в $Z\Lambda$, так развернётся и целый круг. Точно так же, если я двигаю большой круг, связанный с малым и имеющий общий с ним центр, то $A\Gamma$ и AB вместе становятся отвесными и перпендикулярными, один к ZI , другой к $H\Theta$. Так что когда они равно развернутся в $H\Theta$ и ZI , снова, как и в начале, будут перпендикулярны ZA к ZI и AN к $H\Theta$.

И это происходит не так, что большой круг стоит напротив малого, как если бы они остановились в некоторое время в одной и той же точке: ведь оба дви-

¹⁷ Здесь речь идёт о полукруговом угле, образованном диаметром окружности и её дугой. В сравнении с прямолинейными углами такой угол меньше прямого угла, но больше любого острого угла. Такие углы рассматривались в ранней греческой математике в связи с проблемой касания: верно ли, что прямая касается окружности в одной точке? Эта проблема обсуждалась Протагором (см. Аристотель, *Метафизика* 998a1–4). Возможно, что именно с доводами Протагора связана и апелляция к чувственному восприятию, дважды повторенная в этом месте текста.

жуются непрерывно. Малый круг не перепрыгивает ни через какую точку, хотя большой и малый круги проходят равные расстояния, и это абсурдно. Они двигаются всегда одним движением, так что в развёртывании центр принадлежит и большому, и малому кругам, и это удивительно. Ведь по природе то, что двигается с одной и той же скоростью, переносится одинаково, поскольку равным скоростям соответствуют равные движения.

Начальная причина этого заключается в том, что одна и та же равная мощность движет одну величину быстрее, другую медленнее. Пусть одно тело не движется по природе, зато другое тело движется по природе и двигает его: тогда движение будет происходить медленнее. И если оно движется по природе, ни с чем не связанное, всё будет происходить так же. И невозможно, чтобы движимое тело двигалось больше, чем движущее: ведь оно движется не самим собой, но тем, что его движет.¹⁸

Пусть будут большой круг А и малый круг В. Если малый круг толкает большой, не вращаясь, ясно, что большой круг пройдёт ту же прямую, что и малый, поскольку он подталкивается малым. Столько же пройдёт и толкающий малый круг. Так что они развернут равные прямые. Столь же необходимо и то, что если малый круг толкает большой, вращаясь, он будет вращаться одновременно с толканием, и малый круг повернётся на столько же, если только большой не движется сам. И сколько пройдёт один из них, столько же по необходимости пройдёт и другой, движимый им. И если малый круг сдвинется на стопу, на столько же сдвинется и большой круг. Подобно этому, если большой круг толкает малый, то малый передвинется настолько же, насколько и большой. И как бы не двигался любой из них, быстро или медленно, он пройдёт с той же скоростью ту же прямую, которую бы большой круг прошёл по своей природе.

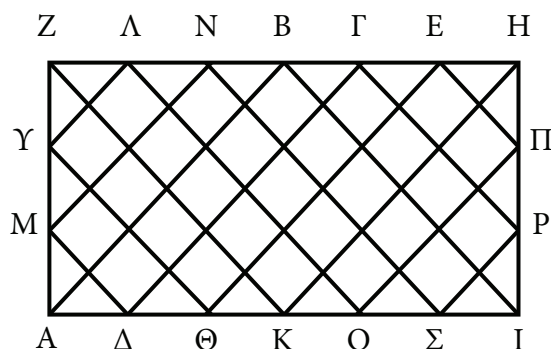
А апория создаётся тем, что они действуют не так, как если бы они не были связаны друг с другом. Ведь если одно движет другое не по природе, то движение не будет тем же самым. И нет разницы, будут они наложены друг на друга или приставлены друг к другу. Если одно движет, а другое им движется, то насколько передвинет первое, настолько передвинется и второе. Если что-то двигает противостоящее или подвешенное к нему, то движимое не всегда вращается. А если они скреплены в одном центре, то по необходимости одно всегда будет вращать другое. Но ничто не уменьшается, и другое движется не своим движением, но так, словно не имеет своего движения. А если имеет, но не пользуется, то происходит то же самое. Так что если большой круг двигает связанный с ним малый, то малый движется, как большой; а если двигает малый, то наоборот, большой движется как малый. Порознь же каждый движется своим движением.

¹⁸ Автор вновь привлекает динамическое суждение для решения кинематической проблемы.

Эта апория о том, что два круга с одним центром и одной скоростью проходят неравные линии, является софистической ошибкой. Оба они имеют один центр, но по сопричастности, как «музыкальное» и «белое».¹⁹ Ведь здесь не пользуются тем, что у каждого круга есть центр. Если движется малый круг, то центр и начало относятся к нему, а если большой, то к нему. Так что тот же центр двигается не просто, но в соотношении.

Проблема 25

Почему кровати делают с отношением сторон два к одному, одна сторона в шесть футов и ещё немного, другая – в три фута? Почему их натягивают не по диагонали? Что касается размеров, то они соразмерны с телом, размеры которого также относятся как два к одному, ведь его длина равна четырём локтям, а ширина – двум. А натягивают их не по диагонали, а поперёк, чтобы меньше ломались брусья. Ведь они быстрее расщепляются в естественном направлении и лучше ломаются. Когда верёвки должны нести груз, нагрузка на них получается меньшей, когда они натянуты поперёк, а не наискось. И верёвок при этом требуется меньше.



Пусть AZHI – кровать, и ZH разделена пополам в В. Равно просверлены ZB и ZA. Стороны равны, и целое ZH разделено пополам. Пусть верёвки натянуты от А к В, потом к Г, потом к Δ, потом к Θ, потом к Ε. И так всегда, чтобы углы были перевязаны.²⁰ Ведь концы верёвки связывают два угла. Перегнутые верёвки равны: АВ + ВГ = ГΔ + ΔΘ. И другие аналогично, по такому же доказательству. АВ = ΕΘ, поскольку равны стороны площади ВНКА, и отверстия отстоят одинаково. ВН = КА, поскольку угол В равен углу Η; а они равны, поскольку один внешний, другой внутренний. Угол В – половина прямого, поскольку ZB = ZA, и угол Z прямой; ведь прямоугольник имеет отношение сторон два к одному, и разделён посередине. ВГ = ΕΗ = ΚΘ как параллельные. Так что ВГ = ΚΘ, и ΓΕ = ΔΘ. Сходным образом доказывается, что и остальные перегнутые верёвки равны по две. Так что ясно, что в кровати имеется четыре

¹⁹ Сопричастность этих двух качеств не очень понятна, но сам анализ софистической ошибки выстроен в характерном для Аристотеля стиле.

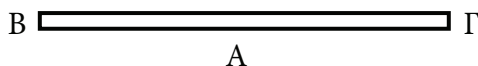
²⁰ Рисунок взят из издания ван Капелле (1812). Однако сам ван Капелле признаётся, что текст этого предложения малопонятен и скорее всего, сильно испорчен.

таких верёвки, как АВ, и их столько, сколько отверстий в стороне ЗН, и в половине на половине ЗВ. На половине кровати находится столько верёвок, равные по величине ВА, сколько отверстий сделано на ВН. Это то же самое, что сказать про АЗ и ВЗ вместе.

Если же верёвки натянуты по диагонали, как в кровати АВГД, половины не находятся на обеих сторонах АЗ, ЗН. Равные, когда отверстия сделаны на ЗВ, ЗА. Но АЗ и ВЗ вместе больше АВ. Так что и верёвок здесь больше, поскольку обе стороны вместе больше диагонали.

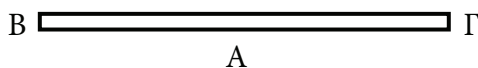
Проблема 26

Почему длинные брусья труднее нести на плече за конец, нежели посредине, ведь их вес один и тот же? Не потому ли, что раскачивающийся брус неудобно нести за конец, поскольку колебания отклоняют перенос в сторону? Но ведь даже когда брус не раскачивается и не имеет большой длины, его всё равно труднее нести за конец? Поднимать его легче за конец, чем за середину, но нести не легче. Причина здесь в том, что если брус поднят за середину, то концы всегда облегчают друг друга, и одна часть поднимает другую. Ведь середина становится центром, за который поднимают и несут. И каждый из концов поднимает другой конец вверх, когда сам идёт вниз. Но если брус поднимать или нести за конец, этого не произойдёт, и груз будет тянуть за середину, если его поднять или нести. Пусть середина А, края ВГ. Если поднять или нести в А, то когда В потянет вниз, он поднимет Г вверх, и когда Г потянет вниз, он поднимет В вверх. И оба конца, поднимаясь, делают так.



Проблема 27

Почему на плече труднее нести груз больших размеров, нежели небольшой груз того же веса? Выше говорилось, что раскачивание не является причиной, но теперь причиной будет именно раскачивание. Ведь у большого груза края раскачиваются, так что его будет труднее нести. Причина – это большее раскачивание, и в том же самом движении концы смещаются тем больше, чем длиннее брус. Пусть плечо – это неподвижный центр А, АВ и АГ – расстояния от центра. Чем больше АВ и АГ, тем больше величина смещения. И это показано выше.²¹



Проблема 28

Почему колодезные журавли устроены таким образом? Свинцовый груз прикреплен к бусу, а ещё есть груз самого кувшина, и пустого, и полного. Не

²¹ Проблема 1.

потому ли, что работа выполняется за два такта (нужно погрузить кувшин в воду, а потом поднять его вверх), и опускать вниз пустой кувшин легко, а поднимать вверх полный – трудно? И оттого, что опускание идёт немного медленнее, зато подъём с поднимающим грузом – много легче, в целом получается выигрыш. Вот они и прикрепляют на конце журавля добавочный свинец или камень. Опускание груза становится большим, если нужно опускать только пустой кувшин; но когда он полон, его поднимает свинец или другой прикреплённый груз. Так что оба действия легче выполнять так, нежели иначе.

Проблема 29

Почему, когда два человека несут груз на палке или схожим образом, если груз висит не на середине, он давит не одинаково, но больше на того носильщика, к кому он ближе? Может быть, потому, что палка становится рычагом, груз – опорой,²² носильщик, находящийся ближе к грузу – движимым грузом, другой носильщик – движущим грузом. Чем дальше он отстоит от груза, тем легче движет и больше давит вниз на другого носильщика, словно упираясь в подвешенный груз, ставший опорой. А если груз подвешен на середине, один носильщик не станет для другого большим грузом, и не будет двигать, но они станут одинаковыми грузами друг для друга.

Проблема 30

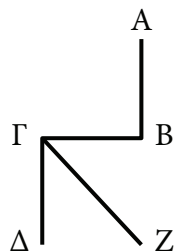
Почему все мы, когда встаём, делаем острый угол между бедром и голенью, и между туловищем и бедром? А если не делаем, то не можем встать. Не потому ли, что в покое всё уравновешено, и прямой угол создаёт покой из-за равенства,²³ и ходят под одинаковыми углами²⁴ к земной окружности? А здесь угол с плоскостью не является прямым. При подъёме он становится прямым: ведь необходимо стоять вертикально к земле. Чтобы встать вертикально, надо расположить голову напротив ступней, как при стоянии. А у сидящего голова и ступни параллельны²⁵ и не находятся на одной прямой. Пусть голова будет А, тело АВ, бедро ВГ, голень ГД. При сидении тело с бедром и бедро с голенью составляют прямые углы. Встать в этом положении невозможно. Необходимо отклонить голень и поставить ступни под головой. Теперь ГД становится ГZ, и голова сближается со ступнями, так что они уравниваются. При этом ГZ образует острый угол с ВГ.

²² Считать груз опорой в принципе можно, но этого ещё не достаточно для объяснения.

²³ Прямой угол по определению есть «угол, равный своему смежному».

²⁴ πρὸς ὁμοίας ὑπνίας – архаичный способ выражения, когда равные углы называются «подобными». Фалес Милетский называл равные треугольники «подобными».

²⁵ В том смысле, что они находятся на двух разных перпендикулярах к земле.

**Проблема 31**

Почему легче двигать уже движущееся, чем неподвижное; и возы быстрее движутся потом, чем сначала? Не потому ли, что труднее всего двигать вес, который движется в противоположную сторону? Что-то из мощности убывает и тогда, когда тело движется очень быстро: ведь в этом случае толчки замедляются. На втором месте – когда тело неподвижно: ведь неподвижное противится. Но когда тело движется в том же направлении, толчки получаются подобными, как если бы они производили некое увеличение мощности и быстроты. Ведь это происходит так, как если бы воз уже двигался вниз по дороге.

Проблема 32

Почему останавливаются брошенные тела? Может быть потому, что прекращается бросающая сила, или из-за противодействия (*διὰ τὸ ἀντιπλάσθαι*), или из-за отклоняющей тяги (*διὰ τὴν ῥολήν*), если они сильнее силы броска? Но какой прок об этом спорить, удалившись от начала?²⁶

Проблема 33

Почему нечто переносится не своим переносом, когда оно уже не сопровождается толчками? Не очевидно ли, что первое толкает следующее, а оно – следующее за ним? А остановка происходит, когда тело уже не может подталкиваться тем, что его толкало, и когда на переносимый груз сильнее действует та мощность, которая приложена спереди, нежели та, которая его подталкивает?

Проблема 34

Почему дальше всего бросаются не малые и не большие тела, но те, которые соразмерны с бросающим? Не потому ли, что необходимо, чтобы бросаемое и толкаемое тело сопротивлялось толчку? Но когда оно неподатливо по величине или не сопротивляется из-за слабости, его не получается ни бросить, ни толкнуть. Тело не должно ни во много раз превосходить толкающую силу, ни быть податливым и чересчур слабым для упора. А может быть, дело в том, что переносимое тело в воздухе движется только в глубину?²⁷ Недвижимое не будет двигаться, если имеет место одно из этих двух условий. Так что слишком

²⁶ Очень смелая постановка вопроса. Жаль, что автор не пошёл в своих рассуждениях дальше.

²⁷ Похоже, что это предложение стоит не на своём месте. Ему было бы естественнее стоять в предыдущей 33 проблеме.

большое и слишком малое словно и не двигаются вовсе: ведь первое из них само по себе неподвижно, а второе не может быть движимым.

Проблема 35

Почему всё переносимое водяным вихрем в конце концов переносится в середину? Может быть потому, что переносимое имеет величину, так что оно находится на двух кругах, меньшем и большем, на каждом из своих краёв? Так что на большем круге оно влечётся быстрее и отодвигается в сторону меньшего. Поскольку переносимое имеет ширину, снова происходит то же самое, и оно толкается внутрь, пока не придёт к середине. А там оно покоится, поскольку, будучи средним, имеет схожесть со всеми кругами: ведь середина равно отстоит от каждого из кругов.

Или же закручивающаяся вода не пересиливает переносимое тело из-за величины, но, перенося тяжесть по быстрейшему кругу, она по необходимости оставляет его и переносит медленнее? А малый круг – самый медленный. Ведь большой и малый круг поворачиваются за одно и то же время, вращаясь во круг одной середины. Так что тело по необходимости оставляет свой круг и переходит к меньшему, пока не приходит к центру. И каким бы сильным не был перенос сначала, он постепенно ослабевает. Каждый круг всегда движется быстрее груза, так что тот переходит на следующий круг.

То, что не пересиливается, по необходимости движется внутрь или наружу. Оставаясь там же, оно переноситься не может. Ещё менее оно может двигаться наружу: ведь перенос по внешнему кругу идёт быстрее. Так что ему остаётся идти внутрь. И это всегда происходит со всяким телом, которое не пересиливается. Переходу к середине нет предела, и тело покоится только в центре, куда всё обязательно втягивается.