

We show a new construction of an infinite family of antipodal distance-regular graphs of diameter 3 that are related to finite geometries.

This talk is dedicated to Michel Deza, a dear friend, who encouraged me to diversify my research, a man who was ready to go around the world to do mathematics and meet more mathematicians, but also knew when one needs to go home.

УДК 51(091)

## Понятие инерциального движения: истоки, генезис, математическое описание

**Е. А. Зайцев (Россия, Москва)**

Институт истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова РАН

e-mail: e\_zaitsev@mail.ru

## The concept of inertial movement: origins, genesis, mathematical description

**E. A. Zaytsev (Russia, Moscow)**

S. I. Vavilov Institute for the History of Science and Technology, RAS

e-mail: e\_zaitsev@mail.ru

1. Понятие инерции является основополагающим в классической механике: оно, в частности, обуславливает принципиальную возможность математического описания движений в пространстве. Исторически, именно выделение инерциальной составляющей сложного движения позволило Галилею дать точное количественное описание движения брошенного тела (парabolическая траектория).

2. Свойства инерциального движения определены первым законом Ньютона: тело, на которое не действуют силы, сохраняет состояние покоя или равномерного прямолинейного движения. Если первая часть этого закона – о сохранении покоя – не вызывает возражений, то вторая – о сохранении прямолинейного движения – напротив, представляется проблематичной. Повседневный опыт свидетельствует, что в отсутствие движущей силы движение неизбежно прекращается; при этом его траектория зачастую искривляется. Неудивительно, что античность и средневековье не знали принципа инерции в его современном варианте.

3. Несмотря на априорную неочевидность, принцип инерции в современной механике не подвергается сомнению. Основным доводом в его пользу является тот факт, что опирающиеся на него вычисления приводят к правильным практическим результатам. Принцип инерции принадлежит, таким образом, к разряду теоретических гипотез, истинность которых устанавливается a posteriori. Если это так, то возникает вопрос: что побудило творцов новой механики XVII в. ввести этот принцип в качестве непреложного «закона природы»? Ведь весомые аргументы в его пользу появились только в сер. XVIII в., когда, исходя из закона инерции (в сочетании со вторым и третьим законами Ньютона и законом всемирного тяготения), удалось точно рассчитать траектории движения небесных тел.

4. Попытки объяснить феномен научной революции XVII в. делятся на три типа. В рамках позитивистского подхода, настаивающего на кумулятивном характере развития науки, был поставлен под сомнение сам факт научного переворота. В частности, было высказано мнение о

том, что в античности и средневековье существовал аналог понятия инерции (П. Дюэм). Таковым, с точки зрения Дюэма, являлось понятие «импетуса», восходящее к византийскому схоласти Иоанну Филопону (VII в.). В средние века идея движения под действием импетуса получила широкое распространение: ею владели арабские механики, парижский схоласт Жан Буридан и его последователи вплоть до XVI века. В конечном итоге логика развития идеи «импетуса» привела, по Дюэму, к формулировке классического понятия инерции в работах Галилея и Ньютона. Несмотря на то, что Дюэму удалось выделить доклассический «аналог» инерции, в целом его концепция была отвергнута. Дальнейшими исследованиями было установлено, что по ряду параметров импетус средневековья существенно отличался от инерции Нового времени. В частности, движение, вызванное импетусом, обычно считали конечным.

5. В рамках интерналистского подхода, развитого А. Койре, напротив, подчеркивалась мысль о революционном характере становления новой науки в XVII в. Койре полагал, что развитие науки определяется генезисом общемировоззренческих представлений и, поэтому, научный переворот XVII в. следует рассматривать как «реплику» радикального переворота во взглядах на мир в целом. Суть этого переворота он усматривал в отказе от аристотелевской идеи замкнутого иерархически упорядоченного космоса и переходе к представлению об однородной бесконечной Вселенной. Согласно Койре, снятие онтологического различия двух миров, «небесного» и «земного», создало условия для формулировки законов механики как универсально значимых «законов природы». В отношении понятия инерции Койре считал, что его точная формулировка принадлежит Декарту и Ньютону, но не Галилео, у которого этот принцип был сформулирован исключительно по отношению к движению по окружности. В целом, понятие инерции явилось следствием геометризации физического пространства в работах Ньютона. Влияния со стороны техники Койре не признавал.

6. Представители третьего, экстерналистского, подхода, как и Койре, исходили из признания революционного развития науки в XVII веке. Однако, в отличие от последнего, они полагали, что ответ на вопрос о его истоках следует искать в области технической практики. В 30-е гг. XX в. этот подход был развит группой историков (Б.М. Гессен, Х. Гроссман, Э. Цильзель и Р. Мертон). Указанным авторам не удалось, однако, привести убедительных аргументов в пользу тезиса о зависимости научного развития от развития техники. В частности, без ответа остался принципиальный вопрос о технических истоках понятия инерции. Гессен, правда, коротко затронул его, указав на возможную связь идеи инерциального движения с задачей о полете снаряда в практической баллистике. Однако, в дальнейшем эта гипотеза не получила подтверждения: реальные баллистические кривые весьма значительно отличаются от параболической траектории брошенного тела, описанной Галилеем.

7. В настоящее время, когда возможности позитивистского и интерналистского подходов практически исчерпаны, имеет смысл снова обратиться к экстерналистским концепциям, учтя при этом причины прошлых неудач. Задача состоит в том, чтобы, выйдя за рамки высказываний общего характера, обнаружить вполне конкретные явления технической сферы, в которых зарождались предпосылки понятий новой науки. В частности, в отношении принципа инерции необходимо выявить конкретные технические движения, которые могли бы навести на мысль о возможности инерциального движения. Отметим два обстоятельства, на которые в свое время не обратили внимания сторонники экстернализма. Первое состоит в том, что почти все творцы науки Нового времени (включая Декарта и Ньютона) признавали принцип круговой инерции, согласно которому вращение продолжается бесконечно в отсутствие внешних сил. Причем на раннем этапе развития классической механики принцип круговой инерции имел даже более фундаментальное значение, нежели принцип прямолинейной инерции (Галилей). Первое обстоятельство заставляет обратить внимание на второе. А именно, что теоретические представления о круговой инерции рождаются в тот самый момент, когда широкое распространение получают движения-вращения технического характера, обладающие ярко выраженной

инерциальностью. Это – прежде всего, движения-вращения рабочих валов, момент инерции которых увеличивался искусственно применением тяжелых маховых колес. Будучи отдельными элементами машины, создаваемыми исключительно с указанной целью, маховые колеса являлись материальными «носителями» идеи (круговой) инерции. Техника доклассического периода не знала движений, сопровождаемых вращением махового колеса. Впервые они были реализованы только в XV–XVII вв.

8. В состав механизмов маховые колеса включаются целенаправленно для достижения определенного эффекта. В ряде технических процессов необходимо демпфировать неравномерность вращения, вызванную неритмичной работой «машины-двигателя». С этой целью в состав механизмов вводятся специальные элементы, выполняющие функцию регуляторов скорости. В их числе – маховые колеса или грузы, обладающие большим моментом инерции. Особенно часто они применялись в машинах, в которых при помощи кривошипно-шатунного механизма осуществлялось преобразование возвратно-поступательного движения «машины-двигателя» во вращательное движение рабочего вала. Кривошипно-шатунный механизм – это изобретение, которое также стали широко использовать только в XV–XVII вв. Необходимость в маховом колесе вызвана тем, что вращение, создаваемое при помощи кривошипно-шатунного механизма, не может быть само по себе равномерным, но происходит с периодическим ускорением и замедлением. Типичный пример: машина, рабочий вал которой приводится во вращение периодическим нажатием ножной педали. Поскольку педаль при этом движется рывками (в силу возвратно-поступательного характера своего перемещения), вращение вала также является неравномерным. Демпфировать эту неравномерность и называется маховое колесо [1-3].

9. Таким образом, теоретическое понятие инерциального движения родилось не на пустом месте. В его основе лежат технические движения-вращения, выполняемые при содействии тяжелых маховых колес. Именно они способствовали выработке представления об инерциальных движениях, вначале у практических механиков, воплощавших идею круговой инерции в работу реальных машин, а затем у теоретиков, положивших ее в основу классической механики.

## СПИСОК ЦИТИРОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зайцев Е. А. Всеобщее содержание природы в зеркале развития практической механики // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия «Философия. Социология. Право». 2017. Вып. 41, 12–19.
2. Зайцев Е. А. У истоков теоретической механики: история превращения технического искусства в научную дисциплину // Институт истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова РАН. Годичная научная конференция 2015. Т.1. М., 2015, 132–141.
3. Зайцев Е. А. Идеальное движение // Научный результат. Социальные и гуманитарные исследования. 2016. Т. 2, № 2(8), 34–42.

---

УДК 514.8,531.1,531.8

## Шарнирные механизмы и их конфигурационные пространства

**М. Д. Ковалёв (Россия, г. Москва)**

Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, мехмат  
e-mail: mdkovalev@mtu-net.ru