

Машкин Аркадий Львович

канд. экон. наук, доцент

Борисов Сергей Вячеславович

канд. техн. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный
государственный технический университет (МАДИ)»
г. Москва

ЗАДАЧИ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ ОТСЧЕТА В МЕХАНИКЕ

Аннотация: в современной педагогике высшего образования наметилась тенденция вторичности фундаментальных дисциплин и усиления роли современных цифровых технологий и дисциплин. Однако именно взаимосвязь между науками, построенная на базовых принципах механики и физики, общих математических принципах решения, позволяет показать общие точки, основанные на механических явлениях. Авторы приходят к выводу о том, что преподаватели должны найти современные инструменты, новые модели, в том числе и в области систем отсчета, так как в них есть потребность в современной цифровой среде.

Ключевые слова: теоретическая механика, модели в механике, законы Ньютона, инерциальная система отсчета, неинерциальная система отсчета.

Наука – это знания, приведенные в определенную систему. Механика, в свою очередь, являясь строгой логической наукой, имеет свою выверенную систему понятий, теоретических представлений и методов решения практических задач. Однако в учебном процессе эта системность находит слабое воплощение в междисциплинарных связях, и достаточно большой объем материала по темам курса не приводит к пониманию роли механики в разделах наук, не имеющих формальной привязки к теоретической механике [1]. Несмотря на ограниченность времени, выделяемого на изучение механики, авторы полагают, что крайне важно сформировать у студентов понимание взаимосвязи данной фундаментальной науки со всеми дисциплинами, входящими в рабочую програм-

му [2]. Классическая механика, или механика Ньютона, по общему признанию ученых явилась первой всеобъемлющей и законченной научной системой, представляющей собой механическую модель реального мира, и включающей в себя все достижения научного знания того периода. Одним из базовых положений классической механики служит постулат об евклидовости трехмерного физического пространства, который задает жесткую геометрически симметричную структуру пространства вне всякой зависимости от материальных эффектов, вызываемых движущимися в нем телами, что всегда позволяет для всего пространства в целом ввести единую декартову систему координат. Тем самым, подобно времени, понятие пространства вводится Ньютоном абстрактно, выступая как некое объективно существующее «ничто», на арене которого разыгрываются все события. Нужно считать, что постулат об евклидовости геометрии привносит в механику ограничение наложением универсальной связи, благодаря которой роль физического пространства выполняет безграничный всепроникающий неизменяемый объект с фиксированными геометрическими свойствами однородности и изотропности. Такое геометрическое равноправие всех положений и направлений в этом пространстве придает, в частности, абсолютный смысл фундаментальному понятию длины в механике и предполагает наличие гипотетических абсолютно твердых тел [3].

В то же время объективная реальность действительного пространства как формы существования движущихся в нем материальных тел проявляет себя в пространственно-временных связях, складывающихся в процессах их взаимодействия. Следовательно, вопрос о конкретных физических свойствах пространства должен рассматриваться с позиций так или иначе выбранной системы отсчета наблюдателя, по отношению к которой изучаются указанные физические процессы (механического движения и соответствующих ему взаимодействий). Под последней, в механике, понимают совокупность системы координат и времени, связанную с каким-то материальным телом (телом отсчета).

Относительно различных систем отсчета одно и то же объективное пространство проявляет себя физически по-разному поскольку эти системы отсчета

выделены физически различным образом, при этом постоянно связанными с телами отсчета, находящимися в различных состояниях движения. Поэтому в общем случае произвольной системы отсчета пространство не будет однородным и изотропным в механическом понимании, т.е. различные местоположения и направления движения в нем какого-либо тела оказываются механически неравноправными при условии полного отсутствия его взаимодействий с другими материальными объектами.

Вполне понятно, чтобы постулат об евклидовой геометрии пространства приобрел физическое содержание, совместно с ним должно быть постулировано существование системы отсчета, относительно которой пространство обладает глобальными свойствами однородности и изотропности. Это означает, что если теоретически допустить возможность исключения всякого материального взаимодействия, то в указанной системе отсчета любые пространственные положения тела и направления его движения будут эквивалентными в механическом отношении. Другими словами, пространство само по себе не вызывает изменения состояния движения тела относительно такой системы отсчета и всякое свободное движение будет происходить с первоначальной скоростью, т.е. прямолинейно и равномерно. Отсюда физической основой рассматриваемого постулата является закон инерции, а система отсчета стала общепринятым названием – инерциальной системой отсчета (рис.1), что произошло уже после смерти Ньютона.



Рис. 1. Инерциальная система отсчета (ИСО)

Базирующаяся на этом фундаментальном законе пространственная модель классической механики фактически является механическим проявлением всеобщего закона природы о неуничтожимости движения как неотъемлемого атрибута материи. Физическое содержание закона инерции как исходного теоретического принципа механики раскрывается постольку, поскольку в действительности всегда можно указать системы отсчета, которые связаны с конкретными телами и в каком-то приближении способны имитировать инерциальную систему, конечно при рассмотрении явлений соответствующего пространственно-временного масштаба [4]. Чрезвычайно высокую степень приближения гарантирует использование в этой роли гелиоцентрической системы с осями координат, направленные на одни и те же далекие, т.н. «неподвижные» звезды. Так как принципиально невозможно исключить существующее в природе материальное взаимодействие, то любая реальная система отсчета начинает проявлять свою неинерциальность, если наблюдения за движением тел с ее помощью производятся достаточно долго или в достаточно протяженной пространственной области.

Очевидно, что во всех системах отсчета движущихся прямолинейно и равномерно относительно инерциальной СО, физическое пространство будет обладать совершенно одинаковыми свойствами однородности к изотропности, т.к. свободное движение в каждой из этих систем будет происходить с постоянной скоростью. Тогда можно предположить, что постулат о наличии хотя бы одной инерциальной системы равнозначен существованию бесконечной совокупности таких систем отсчета, находящихся в состоянии относительного движения и связанных между собой преобразованиями Галилея (рис. 2).

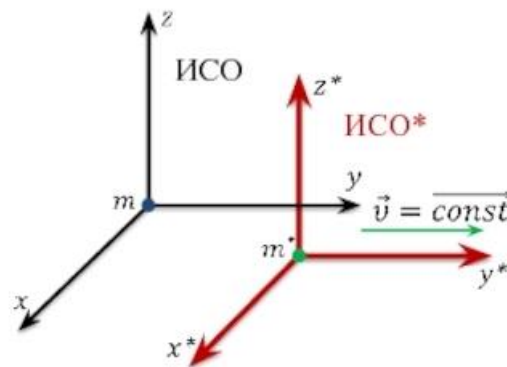


Рис. 2. Взаимосвязь ИСО

Являющийся одним из важнейших принципов механики, принцип относительности Галилея-Ньютона ставит эту совокупность в исключительное положение: он утверждает полную равноправность в механическом смысле всех ИСО. Соответственно, это означает, что аналитическая формулировка всех законов механики должна быть инвариантной относительно выбора СО, а во-вторых, что все механические явления и процессы протекают одинаково по отношению к любой их них.

Математическая форма выражения физических законов о взаимодействиях, вообще говоря, зависит не только от их специфики, но также от свойств пространства и времени, в которых совершаются эти взаимодействия. В свою очередь, объективные пространство и время проявляют свои свойства по-разному в зависимости от выбора СО, который существенным образом зависит от воли исследователя, а не от изучаемых процессов. В данном случае вариация выбора ограничена исключительно классом ИСО в соответствии с принятым в механике Ньютона пространственно-временным моделированием. Для того, чтобы отражать объективную реальность взаимодействий, выражающие их физические законы должны быть сформулированы независимо от способов описания происходящих явлений, т.е. математическая запись этих законов должна быть одинаковой во всех СО, т.е. быть ковариантной по отношению к ним.

Это необходимое и фактически понимаемое логическое требование как раз содержится в первой части относительности Галилея. Данный принцип составляет гносеологический базис всей классической механики, как конкретной модели реального мира, т.е. принадлежит к методологическим основам данной науки. Важно отметить, что указанный принцип механики построен исключительно для ИСО, по отношению к которым и сформулированы основные законы Ньютона, включающих в себя содержание всей науки механики. С помощью постулата об ИСО модельный характер объективного пространства в механике Ньютона задается физической однородностью и изотропностью. Последнее требует, чтобы каждый из совершающихся процессов был «вложен» в эту жесткую и универсальную пространственную структуру, геометрически выражаемую евклидовой метрикой. Наличие такого ограничения превращает пространство в некое всепроникающего участника всех механических процессов, так или иначе определяющего происходящие события и никак не испытывающего их обратного влияния. Другими словами, в совокупности с абсолютным временем пространство выступает в роли своеобразной модели физического поля универсального взаимодействия, а его непосредственно наблюдаемая функция – удерживать материальные тела в заданном состоянии движения выражена Ньютоном в классической формулировке закона инерции [5]. В существовании такого поля находит свое механическое проявление присущая всему окружающему нас миру всеобщая диалектическая взаимосвязь и взаимообусловленность событий, а основные его структурные законы установлены общей теорией относительности. В формировании его свойств принимают участие все материальные объекты вселенной, суммарным гравитационным действием которых можно объяснить происхождение инерционных свойств материи.

С переходом к общему случаю неинерциальных систем отсчета, по отношению к которым пространство теряет свою глобальную симметрию и приобретает физические иные свойства, что находит выражение в появлении дополнительных эффектов. В механическом смысле новые свойства могут проявляться в том, что на каждую материальную частицу будет действовать так называемая

сила инерции, пропорциональная массе и ускорению, вызванному неинерциальностью системы отсчета. Действием этих сил можно объяснить необходимость дополнительных соответствующих усилий, которые должны быть приложены, чтобы удерживать тело в первоначальном состоянии покоя. Объясняя происхождение инерционных сил в ускоренных системах отсчета, Луи де Бройль, в частности писал: «Центробежные силы, возникающие во вращающейся системе координат, связаны с тем, что наблюдатель, находящийся в этой системе, использует для описания явлений, происходящих в евклидовом четырехмерном пространстве, системы криволинейных координат» [6].

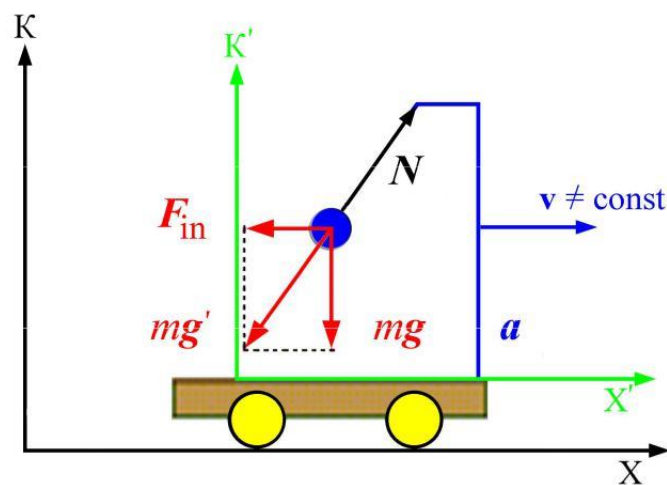


Рис. 3. Неинерциальная система отсчета (НСО)

Таким образом, понятие о силах инерции возникает в тесной связи с конкретным выражением физических свойств пространства, а точнее, с тем, как оно фактически проявляет себя по отношению к данной физически выделенной СО. Вопрос о реальности сил инерции применительно какому-либо телу естественно должен ставиться с позиций тех физических свойств, которые обнаруживает объективное пространство как форма бытия материи именно по отношению к этому самому телу, т.е. относительно СО, действительно связанной неизменно с ним, а не с каким-то совсем другим объектом. Только в таком случае сила инерции становится объективной динамической характеристикой для рассматриваемого материального тела находящегося в произвольном состоянии движения по отношению к постулированной в механике ИСО [7].

Изложенные соображения важны потому, что проблема изучения фундаментальных наук вообще, а теоретической механики в частности, в настоящее время не является приоритетной при построении учебных планов в технических университетах. Однако авторы продолжают считать, что проблема построения новых моделей актуальна, а новые модели будут более сложными, чем употребляющиеся до сих пор, что отсылает нас к пониманию базовых принципов [8]. Преподаватели должны найти современные инструменты, новые модели, в том числе и в области систем отсчета, так как в них есть потребность в современной цифровой среде.

Список литературы

1. Борисов С.В. Методическое обеспечение при изучении теоретической механики в университете / С.В. Борисов, А.Л. Машкин // Социально-педагогические вопросы образования и воспитания. Материалы II Всероссийской научно-практической конференции / гл. ред. Ж.В. Мурзина. – Чебоксары, 2022. – С. 126–129.
2. Додонов Б.М. Электронный обучающий комплекс по теоретической механике на платформе Moodle (от проекта до курса) / Б.М. Додонов, С.В. Борисов, Т.Л. Артемьева [и др.] // Человек и Вселенная. – 2019. – №2 (96). – С. 10–19.
3. Механика и физика второй половины XVIII в. – М.: Наука, 1978. – 200 с.
4. Д'Аламбер Ж.Л. Очерк происхождения и развития науки / Ж.Л. Д'Аламбер // Родоначальники позитивизма. – СПб., 1910.
5. Ньютон И. Математические начала натуральной философии // Собр. тр. акад. А.Н. Крылова. – Т. 7. – М.: Изд-во АН СССР, 1936.
6. Луи де Бройль. Революция в физике / Луи де Бройль. – М.: Атомиздат, 1965. – С. 81.
7. Эйнштейн А. Физика и реальность / А. Эйнштейн. – М.: Наука, 1956. – С. 42.
8. Машкин А.Л. Взаимное обучение преподавателей и студентов по принципу «PEER-TO-PEER LEARNING» / А.Л. Машкин, О.А. Грузинова, Ю.В. Бо-

рисов // Социальные и педагогические вопросы образования. Сборник материалов Международной научно-практической конференции. – 2020. – С. 71–75.