

О РЕАЛЬНЫХ ЗАКОНАХ ДВИЖЕНИЯ



ON THE BASIC CONCEPTS AND LAWS OF THE CLASSICAL MECHANICS

Смелягин Анатолий Игоревич

доктор технических наук, профессор
кафедры наземного транспорта и механики,
Кубанского государственного
технологического университета
asmelyagin@yandex.ru

Smelyagin Anatoly Igorevich

Doctor of technical sciences,
Professor Department
of land transport and mechanics,
Kuban state technological university
asmelyagin@yandex.ru

Аннотация. Наука, изучающая механические взаимодействия, движения и равновесие материальных тел, называется Механикой. Фундамент современной классической механики построен на трудах Галилея, Эйлера, законах Ньютона и таких понятиях, как материальное тело, движение, покой, сила, взаимодействие, меры движения, меры взаимодействия. Эти труды и законы позволили сформулировать и вывести основные аксиомы, принципы, теоремы, уравнения механики. Анализ законов-аксиом И. Ньютона показывает, что, строго говоря, они не являются ни законами, ни аксиомами. Это обусловлено тем, что они описывают движение только не существующих в природе объектов, а именно материальных точек. Поэтому они и все полученные на их основе теоретические выводы, теоремы, уравнения являются приближенными. Следовательно, классическая механика нуждается в построении новых теоретических основ и понятий. Опираясь на современные знания и понятия, в работе формулируются основные аксиомы – законы, которые моделируют взаимодействия и движения материальных объектов.

Annotation. A science that studies mechanical interactions, movements, and the equilibrium of material bodies is called Mechanics. The foundation of modern classical mechanics is based on the works of Galileo, Euler, Newton's laws and such concepts as – material body, motion, peace, strength, interaction, measure of motion, measure of interaction. These works and laws made it possible to formulate and derive the main axioms, principles, theorems, equations of mechanics. The analysis of laws – I. Newton's axioms shows that, strictly speaking, they are neither laws, nor axioms. This is due to the fact that they describe the movement of only objects that do not exist in nature, namely, material points. Therefore, they and all the theoretical conclusions, theorems, and equations derived from them are approximate. Consequently, classical mechanics needs to build new theoretical foundations and concepts. Based on modern knowledge and concepts, the main axioms are formulated in the work – laws that model the interactions and movements of material objects.

Ключевые слова: аксиомы, законы, взаимодействие, механическое движение, меры движения, меры взаимодействия, покой, равновесие, сила, момент, масса, момент инерции, ускорение.

Keywords: axioms, laws, interaction, mechanical motion, measures of motion, measures of interaction, peace, equilibrium, force, moment, mass, moment of inertia, acceleration.

Введение

Наука, изучающая механические движения, взаимодействия и равновесие материальных тел, называется Механикой [1–3].

Фундамент современной классической механики построен на трудах Галилея, Ньютона, Эйлера [4–6] и выведенных из них общих теорем динамики, принципа Даламбера, уравнений Лагранжа и таких понятиях, как материальное тело, материальная точка, масса, движение, покой, пространство, время, кинематические характеристики движения, меры движения, взаимодействие, связь, меры взаимодействия (равновесие) [1–12].

Анализ законов-аксиом И. Ньютона показывает, что, строго говоря, они не являются ни законами и ни аксиомами. Это обусловлено тем, что они описывают движение только не существующих в природе объектов, а именно материальных точек [7–12].

- «По мере углубления наших знаний выявляются границы применимости теоретической механики, относительность ее понятий. Выяснилось, что аксиомы или законы классической механики Ньютона не абсолютны»;
- «это не закон (второй закон Ньютона), ибо нет определения силы»;
- законы Ньютона сформулированы для несуществующих в природе материальных точек;

- так называемые основные понятия механики (сила, пространство, время), «смысл которых читателю считается ясным», пока однозначно не определены.

Тем не менее, современная классическая механика, несмотря на то, что со времен Галилея, Ньютона и Эйлера быстро развивалась, базируется на «законах», сформулированных в XV–XVII веках. Однако любая развивающаяся наука не может в своей основе иметь законы, представляющие собой «вечные», причем не корректные истины.

Поэтому в [13] были:

- проанализированы, уточнены и сформулированы основные понятия классической механики;

- показана некоторая терминологическая некорректность и избыточность классической механики;

- определены основные критерии, определяющие механическое движение материальных тел;

- сформулированы законы движения и равновесия материальных тел и точек.

Основываясь на современных понятиях и знаниях [3–14], ещё раз рассмотрим и исследуем основные причины движения материальных тел.

Материальное тело характеризуется массой [13].

Масса – это количество вещества (материи), находящегося в теле.

Масса может в теле распределяться равномерно (однородное тело) и неравномерно (неоднородное тело).

Масса тела m при различном её распределении, соответственно, определяются:

$$m = \int \rho(h)dh,$$

где ρ – плотность распределения массы; h – соответственно, длина, площадь или объём материального тела.

Из [13] следует, что движения и равновесия объектов Вселенной, происходит в результате того, что все материальные тела взаимодействуют между собой.

Взаимодействие (Interaction) – это действие объектов Вселенной друг на друга.

Взаимодействия многообразны по своей природе, свойствам, действию и могут быть, например, духовными, социальными, биологическими, материальными, гравитационными, фрикционными, реактивными, инерционными, выталкивания, отталкивания, притяжения, сильными, слабыми, магнитными, электрическими, тепловыми и так далее.

Взаимодействие объектов приводит к изменению их *состава, формы, движения и совершению работы*.

Так как в классической механике исследуются только движения материальных тел, в дальнейшем в работе будут рассматриваться только механические взаимодействия.

Взаимодействия могут приводить тела, как в *движение*, так и в состояние *покоя*.

Взаимодействия материальных объектов *парны, равновелики и противоположно направлены*.

Если взаимодействия тел приводят к изменению их предшествующего состояния – движению или его изменению, то в телах возникают *инерционные составляющие взаимодействия*. Эти инерционные взаимодействия стремятся сохранять предыдущее состояние тел.

Количественный результат взаимодействия тел, главным образом, определяется их массой и расстоянием между ними. При больших расстояниях взаимодействия между телами уменьшаются, но не исчезают полностью.

При исследовании движения материальных тел обычно слабыми взаимодействиями, которые практически не влияют на основное движение объекта, пренебрегают.

Взаимодействия материальных объектов обычно разделяют на *контактные* и *бесконтактные*.

Если объекты непосредственно взаимодействуют между собой, то такие взаимодействия считают *контактными*.

Если объекты взаимодействуют между собой, находясь на расстоянии, то такие взаимодействия считают *бесконтактными*.

Взаимодействия материальных объектов осуществляется посредством *полей*. Действие полей на объекты обычно приводят к *распределенным нагрузкам и моментам*.

Распределённые нагрузки и моменты могут распределяться по длине (линии), площади (поверхности) и телу (объёму).

Если при исследовании движения материальных объектов удобно не учитывать взаимодействующий объект с исследуемым, то, применяя принцип освобождения от взаимодействий, его можно виртуально *устранить*. При этом накладываемые этим телом взаимодействия и ограничения на исследуемый объект, чтобы его состояние не изменилось, следует заменять *реакциями* (нагрузками) и описывать соответствующими *уравнениями и неравенствами*.

Нагрузки, действующие на исследуемый объект, в свою очередь целесообразно разделить на *внешние, внутренние, инерционные, реактивные*.

Внешние (активные) нагрузки являются результатом действия на исследуемый объект других взаимодействующих с ним объектов.

К внешним нагрузкам отнесем такие нагрузки, которые возникают в результате взаимодействия тел и *не зависят от кинематических параметров их движения*.

Внутренние нагрузки возникают в объекте в результате взаимодействия материальных точек, входящих в систему исследуемого тела. Внутренние нагрузки могут изменять форму исследуемого тела, но они не влияют на его движение.

Инерционные нагрузки возникают в объекте в результате его ответного действия (реакции), которое направлено на сохранение своего предыдущего состояния. Инерционные нагрузки возникают только в том случае если исследуемый объект в результате действия взаимодействий начинает перемещаться или изменяет своё движение. Инерционные нагрузки *зависят от кинематических параметров движения* исследуемого объекта.

Реактивные нагрузки возникают тогда, когда исследуемый объект в процессе движения *изменяет свою массу или момент инерции*.

Так как на практике анализ и расчет полей и распределённых нагрузок представляет собой сложную задачу, то с целью упрощения моделирования процессов взаимодействия тел в классической механике вводят понятия мер взаимодействия [13].

Меры взаимодействия:

- сила;
- момент силы;
- момент пары сил;
- импульс силы;
- импульс момента силы;
- импульс пары сил;
- работа.

Рассмотрим эти меры [13].

Сила (англ. – *Force*) – это сосредоточенный эквивалент (равнодействующая) полей (давлений, распределённых нагрузок), посредством которых взаимодействуют между собой материальные тела.

Сила – это искусственная математическая абстракция, возникающая в результате локализации силовых полей (давлений, распределённых нагрузок). Силы могут возникать только при взаимодействии материальных точек, так как они не имеют размеров и поэтому у них нет и не может быть силовых полей. Так как материальных точек в природе не существует, нет в природе и сил [13].

Силы взаимодействующих материальных объектов при различном распределении нагрузок, соответственно, определяются:

$$\vec{F} = \int \vec{q}(h)dh, \quad (1)$$

где F – сила; q – интенсивность распределённой нагрузки (давления); h – соответственно, длина, площадь или объём материального тела, на которое действует нагрузка.

Силы так же можно определять через:

- проекции на координатные оси:

$$\vec{F} = F_x \cdot \vec{i} + F_y \cdot \vec{j} + F_z \cdot \vec{k}, \quad (2)$$

где F_x, F_y, F_z – проекции силы на координатные оси x, y, z и $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ – единичные орты, соответственно;

- силовую функцию поля $u = f(x, y, z)$:

$$F_x = \frac{\partial u}{\partial x}, F_y = \frac{\partial u}{\partial y}, F_z = \frac{\partial u}{\partial z}.$$

Сила – величина векторная, а, значит, она имеет точку приложения, направление и модуль.

Силы, как следствие взаимодействия полей, парные, равновеликие и противоположно направленные.

Отметим, что, как бы не называли и не классифицировали силы, это не что иное, как абстрактные понятия, которые реально в природе не существуют, а, следовательно, они не могут считаться первопричинами движения материальных объектов.

Всё, что выше было сказано о силах, относится и к моментам сил (парам сил). Это объясняется тем, что моменты сил непосредственно определяются через силы;

$$\vec{M} = \vec{F} \times \vec{r}, \quad (3)$$

где \vec{r} – радиус вектор.

Импульс силы – это векторная величина, равная интегралу от произведения силы на время её действия:

$$\vec{S}_F = \int \vec{F}(t) dt. \quad (4)$$

Импульс момента силы (пары сил) – это векторная величина, равная интегралу от произведения момента силы на время её действия:

$$\vec{S}_M = \int \vec{M}(t) dt. \quad (5)$$

Работа – это скалярная величина, которая определяет количественный результат действия взаимодействий материальных тел при их перемещении.

При реальных исследованиях движений материальных тел и механических систем работу обычно определяют через силы и моменты сил (пары сил), соответственно, по формулам:

$$A_F = \int \vec{F}(\vec{s}) \cdot d\vec{s} \quad (6)$$

и

$$A_M = \int \vec{M}(\vec{\varphi}) \cdot d\vec{\varphi}, \quad (7)$$

где \vec{s} и $\vec{\varphi}$ – линейное и угловое перемещения исследуемого объекта, соответственно.

Продифференцировав (6) и (7), найдём элементарную работу сил:

$$dA_F = \vec{F}(\vec{s}) \cdot d\vec{s} \quad (8)$$

и моментов сил:

$$dA_M = \vec{M}(\vec{\varphi}) \cdot d\vec{\varphi}, \quad (9)$$

Итак, приведённые выше основные меры движения, которые нашли применение в классической механике, облегчают её восприятие и применение. Однако они не являются необходимыми для построения основ её теории.

Законы движения материальных тел и механических систем

Все материальные объекты и механические системы Вселенной взаимодействуют друг с другом, что приводит их к движению.

Движущиеся объекты могут иметь как одну, так и много степеней свободы.

При разработке, создании и исследовании таких объектов обязательно проводится их динамический анализ.

При динамическом анализе материальных объектов используют законы Ньютона, которые были сформулированы для абстрактной материальной точки, и выведенные на их основе общие уравнения динамики, принцип Даламбера и другие уравнения [1–3].

Основываясь на современных понятиях и знаниях в [13, 14], сформулированы основные законы Вселенной, главные из которых приведены ниже.

Законы-Аксиомы Вселенной

1. Вселенная – это все то, что существует.
2. Вселенная одна и поэтому она консервативна.
3. Вселенная разнообразна по составу.
4. Материя – один из объектов Вселенной.
5. Материя – хранилище вещества (массы).
6. Масса Вселенной постоянна.
7. Объекты Вселенной взаимодействуют между собой.
8. Взаимодействия объектов парны, равновелики и разнонаправлены.
9. Взаимодействие объектов приводит к изменению их состава, движения и совершению работы.
10. Работы взаимодействующих материальных тел на любом перемещении равны между собой.
11. Движение объектов Вселенной относительно.
12. Материальные тела Вселенной инертны, то есть они всегда препятствуют изменению их первоначального состояния.
13. Вселенная дуальна, то есть все объекты Вселенной одновременно движутся и покоятся.

Анализ приведённых выше законов-аксиом Вселенной показывает, что они указывают на то, что движение материальных объектов происходит в результате их взаимодействия, но эти положения не позволяют описать и найти законы их движения. Следовательно, надо сформулировать законы-аксиомы, которые позволят определять движения материальных объектов.

Так как движение материальных объектов возникает в результате их взаимодействия, то исследовать эти движения можно только с помощью мер взаимодействия. Следовательно, только меры взаимодействия могут быть основными понятиями при изучении законов движения материальных объектов.

Проведённый выше анализ мер взаимодействия позволяет заключить, что, так как сила, момент силы, момент пары сил, импульс силы, импульс момента силы, импульс пары сил – это математические абстракции, то, естественно, они не могут быть использованы при формулировании законов – аксиом природы. Эти меры взаимодействия и построенные на них теории можно использовать только в предварительных расчётах и исследованиях, когда нет необходимости в высокой точности и надёжности результатов.

Следовательно, основной мерой взаимодействия материальных тел следует признать работу. Работа может быть определена как непосредственно через полевые взаимодействия объектов, так и через распределённые нагрузки и виртуальные меры силовых воздействий – силы, моменты сил, моменты пар сил.

Законы-Аксиомы движения

1. Взаимодействия материальных тел парны, равновелики и противоположно направлены:

$$I_1 = I_2.$$

2. Если на тело действует уравновешенная система взаимодействий, то оно движется с постоянной скоростью ($\vec{V} = const$) или находится в покое ($\vec{V} = 0$).

3. Работы (элементарная, виртуальная) внешних и инерционных взаимодействий материальных тел на любом перемещении равны между собой:

$$\sum A_{ij} = \sum A_{\Phi ij}, \quad (10)$$

$$\sum dA_{ij} = \sum dA_{\Phi ij}, \quad (11)$$

$$\sum \delta A_{ij} = \sum \delta A_{\Phi ij}, \quad (12)$$

где A_{ij} – работа на исследуемом перемещении объекта, совершаемая всеми внешними (активными) взаимодействиями; $A_{\Phi ij}$ – работа на исследуемом, перемещении объекта, совершаемая всеми инерционными взаимодействиями; i – число взаимодействий; j – число степеней свободы у объекта.

Следовательно, если исследуемый объект Вселенной имеет несколько степеней свободы, то для изучения его движения необходимо записывать столько уравнений (10–12), сколько у него степеней свободы.

Для удобства дальнейшего применения уравнений (10–12) распишем их только для объекта с одной степенью свободы и в более развернутом виде [18]:

$$\sum A_i + \sum A_{Rei} = \sum A_{\Phi i}, \quad (13)$$

$$\sum dA_i + \sum dA_{Rei} = \sum dA_{\Phi i}, \quad (14)$$

$$\sum \delta A_i + \sum \delta A_{Rei} = \sum \delta A_{\Phi i}, \quad (15)$$

где A_i , $A_{\Phi i}$, A_{Rei} – работы на исследуемом перемещении, совершаемые i -ми активными, инерционными и реактивными взаимодействиями, соответственно.

Уравнения (13–15) для материальных тел и механических систем удобнее представить в следующем виде:

$$\sum A_{Fi} + \sum A_{Mi} + \sum A_{Rei} + \sum A_{MRei} = \sum A_{\Phi i} + \sum A_{M\Phi i}, \quad (16)$$

$$\sum dA_{Fi} + \sum dA_{Mi} + \sum dA_{Rei} + \sum dA_{MRei} = \sum dA_{\Phi i} + \sum dA_{M\Phi i}, \quad (17)$$

$$\sum \delta A_{Fi} + \sum \delta A_{Mi} + \sum \delta A_{Rei} + \sum \delta A_{MRei} = \sum \delta A_{\Phi i} + \sum \delta A_{M\Phi i}, \quad (18)$$

где A_{Fi} и A_{Mi} , – работы, совершаемые активными (внешними) i -ми силами и моментами сил, соответственно; $A_{\Phi i}$ и $A_{M\Phi i}$ – работы, совершаемые i -ми силами инерции и моментами сил инерции, соответственно.

A_{Rei} и A_{MRei} – работы, совершаемые i -ми реактивными силами инерции и реактивными моментами сил инерции, соответственно;

Анализ уравнений (16–18) показывает, что в них входят работы, создающие как поступательные, так и вращательные движения материальных тел и механических систем. Так как исследуемые объекты в любое мгновение находятся в равновесии, то очевидно, что и работы, создающие как поступательные, так и вращательные движения в это мгновение по отдельности будут равны друг другу. Тогда уравнения (16–18) можно представить в следующем виде:

$$\begin{cases} \sum A_{Fi} + \sum A_{Rei} = \sum A_{\Phi i} \\ \sum A_{Mi} + \sum A_{MRei} = \sum A_{M\Phi i} \end{cases}; \quad (19)$$

$$\begin{cases} \sum dA_{Fi} + \sum dA_{Rei} = \sum dA_{\Phi i} \\ \sum dA_{Mi} + \sum dA_{MRei} = \sum dA_{M\Phi i} \end{cases}; \quad (20)$$

$$\begin{cases} \sum \delta A_{Fi} + \sum \delta A_{Rei} = \sum \delta A_{\Phi i} \\ \sum \delta A_{Mi} + \sum \delta A_{MRei} = \sum \delta A_{M\Phi i} \end{cases} 0. \quad (21)$$

Следует отметить, что уравнения (19–21) записаны для тел и механических систем с одной степенью свободы. Однако они справедливы и для тел и механических систем с любым числом степеней свободы. Если исследуемый объект имеет несколько степеней свободы, то эти уравнения, соответственно, надо писать для каждой степени свободы исследуемого объекта.

Уравнения (10–21) можно, как это сделано в [14], записать и в проекциях на координатные оси прямоугольной системы координат.

Так как в статических системах отсутствует движение, то у них работа инерционных взаимодействий равна нулю. Более того, так как непосредственно определить работу у статических систем не представляется возможным (отсутствует перемещение), то следует воспользоваться искусственными приёмами, применяемыми в аналитической механике, а именно, переводом реакций опор во внешние силы, путём подбора соответствующих опор и определением виртуальной работы.

Тогда уравнения (21) для статических систем примут вид:

$$\begin{cases} \sum \delta A_{Fi} + \sum \delta A_{Rei} = 0 \\ \sum \delta A_{Mi} + \sum \delta A_{MRei} = 0 . \end{cases} \quad (22)$$

Для статических систем, на которые не действуют реактивные силы, уравнения (22) примут вид:

$$\begin{cases} \sum \delta A_{Fi} = 0 \\ \sum \delta A_{Mi} = 0 . \end{cases} \quad (23)$$

Уравнения (22) и (23) позволяют находить неизвестные реакции в опорах статически определимых систем независимо друг от друга.

Найдем уравнения движения для абстрактных материальных точек и для приближённых исследований материальных тел.

Известно [13], что силы и сосредоточенные моменты сил действуют только на материальные точки и эти понятия используются при приближённых расчётах материальных тел. Для определения уравнений движения материальных точек сообщим им элементарные перемещения и распишем систему (19).

В результате получим:

$$\begin{cases} \sum \bar{F}_i \cdot d\bar{s} + \sum \frac{dm}{dt} \bar{V}_i \cdot d\bar{s} = \sum m \frac{d\bar{V}_i}{dt} \cdot d\bar{s} \\ \sum \bar{M}_i \cdot d\bar{\varphi} + \sum \frac{dI}{dt} \bar{\omega}_i \cdot d\bar{\varphi} = \sum I \frac{d\bar{\omega}_i}{dt} \cdot d\bar{\varphi} . \end{cases} \quad (24)$$

Преобразуем (24):

$$\begin{cases} \sum (\bar{F}_i + \frac{dm}{dt} \bar{V}_i) \cdot d\bar{s} = \sum m \frac{d\bar{V}_i}{dt} \cdot d\bar{s} \\ \sum (\bar{M}_i + \frac{dI}{dt} \bar{\omega}_i) \cdot d\bar{\varphi} = \sum I \frac{d\bar{\omega}_i}{dt} \cdot d\bar{\varphi} . \end{cases} \quad (25)$$

Сократив (25) на $d\bar{s}$ и $d\bar{\varphi}$, получим:

$$\begin{cases} \sum \bar{F}_i + \frac{dm}{dt} \sum \bar{V}_i = m \frac{d\sum \bar{V}_i}{dt} \\ \sum \bar{M}_i + \frac{dI}{dt} \sum \bar{\omega}_i = I \frac{d\sum \bar{\omega}_i}{dt} . \end{cases} \quad (26)$$

Обозначим:

$$\sum \bar{F}_i = \bar{F} , \quad (27)$$

$$\sum \bar{V}_i = \bar{V} , \quad (28)$$

$$\sum \bar{M}_i = \bar{M} , \quad (29)$$

$$\sum \bar{\omega}_i = \bar{\omega} , \quad (30)$$

где \bar{F} , \bar{V} , \bar{M} , $\bar{\omega}$ – главные вектора соответствующих величин.

С учётом (27–30) уравнения (29) примут вид:

$$\begin{cases} \bar{F} + \bar{V} \frac{dm}{dt} = m \frac{d\bar{V}}{dt} \\ \bar{M} + \bar{\omega} \frac{dI}{dt} = I \frac{d\bar{\omega}}{dt} . \end{cases} \quad (31)$$

Известно [6], что:

$$\begin{cases} m \frac{d\bar{V}}{dt} + \frac{dm}{dt} \bar{V} = \frac{d\bar{K}}{dt} \\ I \frac{d\bar{\omega}}{dt} + \frac{dI}{dt} \bar{\omega} = \frac{d\bar{L}}{dt} \end{cases} \quad (32)$$

где \bar{K} и \bar{L} , соответственно, соэнергии поступательного и вращательного движения материальных точек.

С учётом (32) и того, что силы инерции и реактивные силы имеют противоположное направление активным (внешним) силам, уравнения движения материальных точек (31) примут вид:

$$\begin{cases} \bar{F} = \frac{d\bar{K}}{dt} \\ \bar{M} = \frac{d\bar{L}}{dt} \end{cases} \quad (33)$$

Из системы уравнений (33) следует:

При движении материальных точек изменение их соэнергии, соответственно, равно действующим на них главным векторам сил и моментов сил.

Видно, что первое уравнение системы (33) является классическим вторым законом Ньютона. Это является прямым подтверждением полученных в работе результатов.

Если принять, что при движении материальной точки её масса остаётся постоянной, то из (31), получим:

$$\begin{cases} \bar{F} = \bar{\Phi} \\ \bar{M} = \bar{M}_\Phi \end{cases} \quad (34)$$

где $\bar{\Phi}$ и \bar{M}_Φ , соответственно, главные вектора сил инерции и моментов сил инерции.

Анализ (34) показывает, что при движении материальных точек действующие на них, главные вектора сил и моментов сил, равны соответственно, главным векторам сил инерции и моментам сил инерции.

Используя систему уравнений (33), можно вывести общие теоремы динамики и основные принципы механики. Например, теорему об изменении кинетической энергии.

Если принять, что масса исследуемого объекта – величина постоянная, то из первого уравнения (32) следует:

$$\bar{F} = m \frac{d\bar{V}}{dt} \quad (35)$$

Подставив (35) в (8), после преобразований получим:

$$dA = m\bar{V} \cdot d\bar{V} \quad (36)$$

Внося $m\bar{V}$ под знак дифференциала и обозначая $\frac{mV^2}{2} = T$, найдём:

$$dA = dT \quad (37)$$

Интегрируя (37), получим теорему об изменении кинетической энергии:

$$T_2 - T_1 = A.$$

Поступая аналогично, можно вывести все теоремы и уравнения механики. Практическое применение полученных результатов будет показано в последующих работах.

Выводы

Подводя итог отмеченному выше, можно заключить:

- основными причинами движения материальных тел являются их взаимодействия;
- работы внешних и ответных инерционных взаимодействий материальных тел в любое мгновение равны между собой;

- сформулированы законы движения материальных тел и точек;
- сформулированы законы равновесия материальных тел.

Литература

1. Никитин Н.Н. Курс теоретической механики. – М. : Высш. шк., 1990. – 607 с.
2. Голубев Ю.Ф. Основы теоретической механики. – М. : Изд-во МГУ, 2000. – 2-е изд. – 720 с.
3. Кузьмичев В.Е. Законы и формулы физики. – Киев : Наук. Думка, 1989. – 864 с.
4. Галилео Галилей. Избранные труды в двух томах. – М. : Наука, 1964.
5. Ньютон Исаак. Математические начала натуральной философии. – М. : Наука, 1989. – 688 с.
6. Эйлер Л. Основы динамики точки. – Москва-Ленинград: НТИ-НКТП СССР, 1938. – 500 с.
7. Харламов П.В. Очерки об основаниях механики. Мифы, заблуждения и ошибки. – Киев : Наук, думка, 1995. – 407 с.
8. Ишлинский А.Ю. Механика: идеи, задачи, приложения. – М. : Наука, 1985. – 624 с.
9. Смелягин А.И. Аксиомы или законы движения сформулировал И. Ньютон // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2014. – № 2. – С. 11–16.
10. Смелягин А.И. Законы и понятия классической механики // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2019. – № 3. – С. 21–27.
11. Смелягин А.И. Основные, первичные понятия механики // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2014. – № 2. – С. 17–26.
12. Смелягин А.И. Объекты, для которых сформулированы аксиомы или законы классической механики // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2014. – № 1. – С. 21–25.
13. Смелягин А.И. Об основных понятиях и законах классической механики // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – Краснодар : Издательский Дом – Юг, 2020. – № 2. – С. 11–16.
14. Смелягин А.И. Важнейшие аксиомы, следствия и теоремы классической механики // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – Краснодар : издательский Дом – Юг, 2017. – № 3. – С. 21–38.

References

1. Nikitin N.N. The course of theoretical mechanics. – M. : Higher. school., 1990. – 607 p.
2. Golubev Yu. F. Fundamentals of theoretical mechanics. – M. : Publishing House of Moscow State University, 2000. – 2nd ed. – 720 p.
3. Kuzmichev V.E. Laws and formulas of physics. – Kiev : Science. Dumka, 1989. – 864 p.
4. Galileo Galilei. Selected works in two volumes. – M. : Science, 1964.
5. Newton Isaac. Mathematical principles of natural philosophy. – M. : Nauka, 1989. – 688 p.
6. Euler L. Fundamentals of the dynamics of a point. – Moscow-Leningrad: NТИ-НКТП USSR, 1938. – 500 p.
7. Kharlamov P.V. Essays on the foundations of mechanics. Myths, fallacies and mistakes. – Kiev : Science, Dumka, 1995. – 407 p.
8. Ishlinsky A. Yu. Mechanics: ideas, tasks, applications. – M. : Nauka, 1985. – 624 p.
9. Smelyagin A.I. Axioms or laws of motion are formulated I. Newton // Science. Technics. Technology (Polytechnic Bulletin). – Krasnodar : Publishing House – South, 2014. – № 2. – P. 11–16.
10. Smelyagin A.I. Laws and concepts of classical mechanics // Science. Technics. Technology (Polytechnic Bulletin). – Krasnodar : Publishing House – South, 2019. – № 3. – P. 21–27.
11. Smelyagin A.I. Basic, primary concepts of mechanics // Science. Technics. Technology (Polytechnic Bulletin). – Krasnodar : Publishing House – South, 2014. – № 2. – P. 17–26.
12. Smelyagin A.I. Objects for which axioms or laws of classical mechanics are formulated // Science. Technics. Technology (Polytechnic Bulletin). – Krasnodar : Publishing House – South, 2014. – № 1. – P. 21–25.
13. Smelyagin A.I. On the basic concepts and laws of classical mechanics // Science. Technics. Technology (Polytechnic Bulletin). – Krasnodar : Publishing House – South, 2020. – № 2. – P. 11–16.
14. Smelyagin A.I. The most important axioms, consequences and theorems of classical mechanics // science. Equipment. Technology (Polytechnic Bulletin). – Krasnodar : Publishing House – South, 2017. – № 3. – P. 21–38.