

УДК 531.8

## ОСНОВНЫЕ, ПЕРВИЧНЫЕ ПОНЯТИЯ МЕХАНИКИ

### FUNDAMENTAL, PRIMARY CONCEPTS OF MECHANICS

#### **Смелягин Анатолий Игоревич**

доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой теоретической механики,  
Кубанский государственный  
технологический университет  
Тел.: 8(861) 251-87-05  
set@id-yug.com

#### **Smelyagin Anatoly Igorevich**

doctor of technical Sciences,  
Professor, head of Department of  
theoretical mechanics,  
Kuban State University of Technology  
set@id-yug.com

**Аннотация.** Показано, что не сила, а энергия является основным, первичным понятием определяющим движение и взаимодействие материальных объектов. Установлено, что кинетическая энергия материальных тел зависит от вида их движения, скорости и изменения их массы. Предложено, термин количество движения (импульс) заменить термином сознергия. Показано, что кинетическая энергия тела определяется, как скалярное произведение векторов сознергии и скорости.

**Ключевые слова:** сила, количество движения, масса, материальное тело, скорость, энергия, аксиома, закон, движение, сознергия.

**Annotation.** It is shown that no force, but energy is the main, primary concept defining the movement and interaction of material objects. Found that the kinetic energy of material objects depends on the type of motion, speed, and changes in their masses. It is suggested the term amount of motion (impulse) to replace the term soenergiya. It is shown that the kinetic energy of the body is defined as the scalar product soenergiya and the speed.

**Keywords:** Force, impulse, mass, material body, speed, energy, axiom, law, movement, soenergiya.

Механика — наука, о равновесии, механическом движении и взаимодействии материальных тел.

Основные положения механики впервые вместе были сформулированы великим английским ученым И. Ньютоном в «Математических началах натуральной философии» [1] и в оригинале имеют вид.

### АКСИОМЫ ИЛИ ЗАКОНЫ ДВИЖЕНИЯ

#### **Закон I**

*Всякое тело продолжает удерживаться в своем состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменять это состояние.*

#### **Закон II**

*Изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе и происходит по направлению той прямой, по которой эта сила, действует.*

#### **Закон III**

*Действию всегда есть равное и противоположное противодействие, иначе — взаимодействия двух тел друг на друга между собой равны и направлены в противоположные стороны.*

Отметим, что современные трактовки законов Ньютона многообразны, хотя по смыслу и содержанию совершенно идентичны [2...10].

Анализ оригинальных и современных формулировок аксиом или законов движения И. Ньютона в [6, 7] показал, что:

- они сформулированы только для абстрактных материальных объектов — материальной точки и системы материальных точек. Следовательно, они справедливы и

могут использоваться только для математического моделирования идеальных объектов;

- первая и вторая традиционные аксиомы (законы) механики не являются ни законами, ни аксиомами, так как это следствия из других аксиом.

Из аксиом движения Ньютона [1] и [5] следует, что сила в механике (природе) является основным, первичным понятием. Отметим, что на материальные тела кроме сил еще могут действовать пары сил и моменты.

Что бы понять действительно ли сила является основным, первичным понятием в механике (природе), проанализируем современные взгляды на это и рассмотрим некоторые формулировки определяющие понятие сила, приведенные, например, в Толковом словаре Даля, Философской энциклопедии, Большом Энциклопедическом словаре, Википедии:

«Сила — жен. источник, начало, основная (неведомая) причина всякого действия, движенья, стремленья, понужденья, всякой вещественной перемены в пространстве... Есть отвлеченное понятие общего свойства вещества, тел, ничего не объясняющее, а собирающее только все явления под одно общее понятие и название»;

«Сила — в физическом смысле способность изменять форму материальных масс, вызывать их движение, менять направление и скорость движения или приводить тело в состояние покоя»;

«Сила — в механике — мера механического действия на данное материальное тело со стороны других тел. Это действие вызывает изменение скоростей точек тела или его деформацию и может иметь место как при непосредственном контакте (давлении прижатых друг к другу тел), так и через посредство создаваемых телами полей (поле тяготения, электромагнитное поле). Сила — величина векторная и в каждый момент времени характеризуется численным значением, направлением в пространстве и точкой приложения»;

«Сила — векторная физическая величина, являющаяся мерой интенсивности воздействия на данное тело других тел, а также полей. Приложенная к массивному телу сила является причиной изменения его скорости или возникновения в нём деформаций и напряжений».

Из приведенных выше определений следует, что с точки зрения физического смысла, а именно он важен для данной работы, в современном понятии *сила* (англ. - *force*) это физическая количественная (векторная) мера как контактного, так и бесконтактного взаимодействия материальных тел.

В [6] показано, что: «Сила, это искусственная локализация силовых полей. То есть сила, как и материальная точка, это абстракция. Именно при локализации материальных тел и силовых полей в пространстве тела превращаются в материальные точки, а силовые поля в силы». Следовательно, сила, так как это только лишь математическая абстракция, не может являться физической величиной, а тем более количественной мерой взаимодействия тел.

Учитывая, что понятие силы является важным как в механике, физике, так в других науках, то возникает необходимость в уточнении этого термина.

Итак, учитывая то, что в природе существуют только силовые поля, то под силой будем понимать — *сила* (англ. — *force*) это интегральная мера взаимодействия материальных тел.

То есть сила это

$$\bar{F} = \int \bar{q}(s) ds,$$

где  $q$  — давление (распределенная нагрузка);  $s$  — длина, площадь или объём материального тела, на который действует давление  $q$ .

Сила — векторная величина, а, значит, она имеет точку приложения, направление и величину. Сила — величина парная. Сила — может приводить тела, как в движение, так и в состояние покоя.

Из вышесказанного и [7] следует, что сила не всегда является первопричиной движения, а, значит, она не может являться его мерой и поэтому она не может быть основным, первичным понятием, как в механике, так и других наук.

В [8, 9] указывается: «Вопрос о количественной мере механического движения волновал многих ученых. Над ним думали Галилей, Декарт, Лейбниц, Гюйгенс, Кант, д'Аламбер и многие другие. Это не такой простой вопрос. Доказательством может служить тот факт, что спор между последователями Декарта — картезианцами — и Лейбницем о мерах движения продолжался более 40 лет.

Декарт предлагал мерить движение произведением массы движущегося тела на его скорость:  $mv$ . Лейбниц первым заметил, что Декартова мера движения противоречит закону падения. Поэтому он предложил разделить движущие силы на «мертвые» и «живые». К первым Лейбниц относил «давления» или «тягу» покоящихся тел. За меру их движения он принимал произведение массы  $m$  на скорость  $v$ , с которой тело двигалось бы, если бы оно перешло из состояния покоя в состояние движения; за меру же живой силы — действительного движения тела — он принимал произведение массы на квадрат скорости,  $mv^2$  — мера движения, введенная Лейбницем.

Очень хорошо о мерах движения сказано у Ф. Энгельса в его «Диалектике природы». Там есть специальная глава, посвященная мерам движения. Разобрав вначале несколько примеров механического движения тел, Ф. Энгельс заключает: «Таким образом, мы находим, что механическое движение действительно обладает двоякой мерой, но убеждаемся также, что каждая из этих мер имеет силу для весьма определенного ограниченного круга явлений. Если имеющееся уже налицо механическое движение переносится таким образом, что она сохраняется в качестве механического движения, то оно передается согласно формуле о произведении массы на скорость. Если же оно передается таким образом, что оно исчезает в качестве механического движения, воскресая снова в форме потенциальной энергии, теплоты, электричества и т.д., если, одним словом, оно превращается в какую-нибудь другую форму движения, то количество этой новой формы движения пропорционально произведению первоначально двигающейся массы на квадрат скорости. Одним словом:  $mv$  — это механическое движение, измеряемое механическим же движением;  $mv^2/2$  — это механическое движение, измеряемое его способностью превращаться в определенное количество другой формы движения. И мы видели, что обе эти меры тем не менее не противоречат друг другу, так как они различного характера» (К. Маркс и Ф. Энгельс. Сочинения. Т. 20. С. 418)».

Итак, движение материального тела (или точки) можно мерить двояким образом: количеством движения — произведением массы тела на его скорость ( $mv$ ) и кинетической энергией — полупроизведением массы тела на квадрат его скорости ( $mv^2/2$ ). Первая мера движения векторная (в результате произведения скалярной величины — массы на векторную — скорость получается векторная величина), вторая мера движения скалярная (квадрат вектора скорости, т.е. произведение вектора самого на себя есть скалярная величина).

Аналогично двум мерам движения существуют две меры действия сил. Действие силы на тело (или точку) можно измерять или импульсом силы или работой. Импульс — векторная мера действия силы, работа — скалярная».

В [8] так же отмечено, что «Важным экспериментальным результатом явилось то, что переход механического движения в другие формы движения материи при одних и тех же условиях осуществляется в однозначных количественных отношениях. Это привело к установлению универсальной меры любых видов движения материи — энергии. Можно сказать, что работа является мерой передачи энергии от одного тела к другому.

Таким образом, энергия — это мера движения любых видов движения материи, а работа — это мера передачи энергии при взаимодействии, «изменение формы движения, рассматриваемое с его количественной стороны» (Ф. Энгельс).

Если отсутствует превращение механической энергии в другие формы движения материи, то закон сохранения энергии в механике выражает не уничтожимость механического движения материи.

Приведенная схема хорошо иллюстрирует замечание Энгельса о том, что сила не является причиной движения. Движение есть форма существования материи, форма бытия. И в самом общем виде говорить о причине движения не имеет смысла. Но движение может быть передано от одного тела к другому. И вот величиной, характеризующей количественно эту передачу движения, и является сила».

Из вышесказанного следует, что, *энергия* (др.-греч. ἐνέργεια — «действие, сила, мощь») *является единой универсальной мерой всех форм движения материи.*

*Следовательно, не сила, а энергия может считаться основным, первичным понятием, как в физике, механике, так и других науках.*

*Энергия, в отличие от силы величина скалярная.*

В настоящее время различают много различных видов энергии. Укрупнено можно выделить следующие виды энергии — механическая, электрическая, электромагнитная, тепловая, химическая, ядерная, взрыва.

Так как настоящая работа посвящена наиболее изученному виду взаимодействия и движения материальных тел — механическому, соответственно, остановимся только на механической энергии.

В механике различают потенциальную, кинетическую и полную энергии.

*Потенциальная энергия* это энергия взаимодействия материальных тел между собой или с внешними полями.

*Кинетическая энергия* это энергия движения материальных тел.

*Полная механическая энергия* материального тела это сумма потенциальной и кинетической энергий.

Кинетической энергией материальной точки [5] называют половину произведения массы точки  $m$  на квадрат ее скорости  $V$ , то есть

$$T = \left( \frac{mv^2}{2} \right). \quad (1)$$

Кинетической энергией системы материальных точек [5] называют сумму энергий всех точек механической системы, то есть

$$T = \sum \frac{m_k v_k^2}{2}. \quad (2)$$

Так как материальное тело может совершать два простейших движения, то для тел определяют кинетическую энергию поступательного и вращательного движений.

Кинетической энергией поступательно движущегося материального тела [5] называют половину произведения массы  $M$  тела на квадрат его скорости  $V$ , то есть

$$T_n = \frac{mv^2}{2}. \quad (3)$$

Кинетической энергией вращающегося материального тела [5] называют половину произведения момента инерции тела относительно оси вращения  $J$  на квадрат угловой скорости  $\omega$ , то есть

$$T_e = \frac{J\omega^2}{2}. \quad (4)$$

Кинетическая энергия материального тела совершающего одновременно вращательное и поступательное движение (полная кинетическая энергия) равна сумме кинетических энергий этого тела в его простейших движениях

$$T = T_e + T_n. \quad (5)$$

В специальной теории относительности [4] энергия определяется знаменитой формулой Эйнштейна

$$E = mc^2, \quad (6)$$

где  $E$  — энергия системы,  $m$  — её масса,  $c$  — скорость света в вакууме.

Отметим, что формулы (1)...(4) были получены в предположении, что масса материального объекта (точки, тела) является постоянной величиной ( $m = \text{const}$ ).

Однако если ( $m \neq \text{const}$ ) кинетическая энергия материального объекта должна вычисляться по-другому. Покажем это.

В [6] приводится современная математическая запись второй аксиомы И. Ньютона, которая имеет вид

$$\frac{d(m\bar{V})}{dt} = \bar{F}. \quad (7)$$

Рассмотрим процесс движения точки, если её масса  $m$  изменяется ( $m = \text{var}$ ) в процессе ее движения. Это можно сделать, так как в оригинальной формулировке второй аксиомы И. Ньютон [1] пишет не о произведении массы на ускорение, как это утверждается в современных трактовках этой аксиомы, а об изменении количества движения ( $mV$ ). Следовательно, формулировка И. Ньютона учитывает возможность изменения массы материальной точки при её движении [12].

Продифференцируем (7) по времени  $t$ , считая при этом, что в общем случае у исследуемой материальной точки  $m = \text{var}$  и  $V = \text{var}$ . В результате получим

$$m \frac{d\bar{V}}{dt} + \bar{V} \frac{dm}{dt} = \bar{F}. \quad (8)$$

Умножим скалярно левую и правую части уравнения (8) на  $d\bar{S}$

$$m \frac{d\bar{V}}{dt} \cdot d\bar{S} + \bar{V} \frac{dm}{dt} \cdot d\bar{S} = \bar{F} \cdot d\bar{S}. \quad (9)$$

где  $d\bar{S}$  — перемещение точки.

Преобразуем (9)

$$m\bar{V} \cdot d\bar{V} + \bar{V} \cdot \bar{V} dm = \bar{F} \cdot d\bar{S}. \quad (10)$$

Внесем все величины в (10) под знак дифференциала

$$d\left(\frac{mV^2}{2}\right) + d(mV^2) = \bar{F} \cdot d\bar{S}. \quad (10)$$

Сложим слагаемые, стоящие в левой части уравнения

$$d\left(\frac{3}{2} mV^2\right) = \bar{F} \cdot d\bar{S}. \quad (11)$$

Введем обозначение

$$T = \frac{3}{2} mV^2, \quad (12)$$

где  $T$  — кинетическая энергия точки, у которой масса изменяется в процессе движения.

С учетом (12) уравнение (11) примет вид

$$dT = \bar{F} \cdot d\bar{S}. \quad (13)$$

Уравнение (13) можно представить

$$dT = dA, \quad (14)$$

где  $dA = \bar{F} \cdot d\bar{S}$  — элементарная работа.

Проинтегрируем (14). В результате получим

$$T_1 - T_0 = A, \quad (15)$$

где  $T_0, T_1$  — соответственно, кинетическая энергия точки в начальный и конечный момент исследования;  $A = \int_{S_0}^{S_1} \bar{F} \cdot d\bar{S}$  — работа силы на перемещении.

Видно, что уравнение (15) это теорема об изменении кинетической энергии материального тела, у которого масса изменяется в процессе движения.

Из приведенного выше вывода следует, что формулы (1)...(4) для определения кинетической энергии справедливы только для точек, у которых масса не меняется в процессе их движения. Если при движении материальной точки её масса переменна ( $m = \text{var}$ ), то кинетическая энергия должна определяться по формуле (12).

Поступая аналогично можно найти формулы для кинетической энергии материальных объектов, у которых масса изменяется в процессе их движения. Тогда, соответственно, будем иметь для:

– системы материальных точек

$$T = \sum \frac{3m_k V_k^2}{2}; \quad (16)$$

– поступательно движущегося тела

$$T = \frac{3MV^2}{2}; \quad (17)$$

– вращающегося материального тела

$$T = \frac{3J\omega^2}{2}. \quad (18)$$

Во втором законе Ньютона [1] указывается «Изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе».

Из второго закона следует, что Ньютон за меру движения принимает количество движения. При этом в [1] приводится определение этого понятия: «количество движения есть мера такового, устанавливаемая пропорционально скорости и массе».

В современной трактовке [3...5, 10] под количеством движения  $K$  (импульсом  $p$ ) материальной точки понимают векторную меру её механического движения, равную произведению массы на скорость

$$\bar{K} = m\bar{V}. \quad (19)$$

Из (19) следует, что количество движения (импульс) это вектор, а, следовательно, это численно измеряемая и вычисляемая физическая величина.

Прежде всего, необходимо разобраться, почему одна и та же мера движения имеет два названия — количество движения и импульс. Отметим, что точнее надо говорить не об импульсе, а об импульсе материального тела (точки), так как в механике есть еще понятие импульса силы и импульса момента.

С формальной точки зрения двойное название одной и той же величины видимо объясняется неудовлетворенностью специалистов этими терминами. Рассмотрим подробнее, что обозначают эти термины.

*Количество* одно наиболее многозначных философских и физических понятий.

**Приведем некоторые формулировки определяющие понятие *количество*, приведенные в Философской энциклопедии, Философском Энциклопедическом словаре, Официальной терминологии, Википедии:**

«Количество — философская категория, отображающая общее в качественно однородных вещах и явлениях»;

«Количество — число, величина, численная определенность. О количестве спрашивают: «сколько», «как много», «как долго»»;

«Количество — числовое значение параметра, выражаемое в определенных единицах измерения»;

«Количество — это категория, выражающая внешнее, формальное взаимоотношение предметов или их частей, а также свойств, связей: их величину, число, степень проявления того или иного свойства».

Из этих определений следует, что понятие «количество» имеет широкое значение и, следовательно, большую область применения. Однако главное, что это определенность и численно измеряемая величина.

Теперь рассмотрим понятие движение.

Движение одно из фундаментальных и наиболее многозначных философских и физических понятий.

**Приведем некоторые формулировки определяющие понятие *движение*, приведенные в Философской энциклопедии, Энциклопедическом словаре, Античной философии, Википедии:**

«Движение — в широком смысле — всякое изменение, в узком — изменение положения тела в пространстве»;

«Движение — способ существования материи, её всеобщий атрибут; в самом общем виде Д. — «...это намерение вообще» (*Энгельс Ф., см. Маркс К. и Энгельс Ф., Соч., т. 20, с. 563*), всякое взаимодействие материальных объектов»;

«Движение (греч. κίνησις, лат. motus), любое изменение вещи, предполагающее ее переход из одного состояния в другое. Видами движения являются: качественное и количественное изменение, изменение положения в пространстве (перемещение) и субстанциальное изменение, включающее возникновение и уничтожение».

Движение — понятие, охватывающее в самом общем виде всякое изменение и превращение; в механике — изменение положения во времени и в пространстве.

Из приведенных выше определений следует, что с точки зрения физического смысла, а именно он важен для данной работы, *движение* (греч. κίνησις, лат. motus) понятие, охватывающее в самом общем виде всякие изменения и превращения происходящие в матери и материальных телах, в том числе и изменение их положения во времени и в пространстве.

Движение материи проявляется и существует в различных формах. Разнообразие форм движения определяется многообразием форм материи.

Ф. Энгельс выделял следующие основные формы движения материи [2]:

– механическая форма движения связанная с перемещением и взаимодействием материальных тел;

– физическая форма движения, которая относится к микромиру, электрическим и электромагнитным процессам, распространению и превращению тепловой энергии и т.п.;

– химическая форма движения связанная с процессами образования молекул, атомов и превращения одних химических веществ в другие;

– биологическая форма движения связанная с жизнедеятельностью растительных и животных организмов;

– социальная форма движения, которая рассматривалась как совокупность всех видов общественной деятельности человека

Развитие науки дополнило этот список множеством новых форм движения материи, обусловленных внутриатомными процессами, взаимодействием различных элементарных частиц и т.д. Новые научные достижения и представления о новых видах материи и формах их движения происходят, и будут происходить постоянно.

Из этих формулировок следует, что движение это больше философское, чем физическое (техническое) понятие. Поэтому понятие движение не является измеряемой и вычисляемой физической величиной.

Тогда термин *количество движения*, формально не соответствует своему назначению, так как он предполагает численно измерить не измеряемую величину. Следовательно, такой термин не может удовлетворять специалистов и поэтому они вынуждены искать ему соответствующую замену.

В физике обычно вместо термина *количество движения*  $K$  применяют понятие *импульс*  $p$ , а точнее импульс тела. Понятие «импульс» впервые введено Р. Декартом. Под этим термином понимают [4, 10]: «Импульсом тела называется произведение массы тела на его скорость».

Импульс векторная величина. Его направление совпадает с направлением скорости».

$$\bar{p} = m\bar{V}. \quad (20)$$

Не вдаваясь в глубокие теоретические аспекты различия или адекватности эти терминов «количество движения» и «импульс», а просто сравнивая между собой (19) и (20) видно, что это два разных названия одной и той же величины.

Приведем некоторые формулировки определяющие понятие импульс приведенные в Большой советской энциклопедии, Словаре синонимов, Историческом словаре галлицизмов русского языка, Современной энциклопедии и в Большом Энциклопедическом словаре:

«импульс (*от лат. impulsus — удар — толчок*) импульс механический, мера механического движения; представляет собой векторную величину, равную для материальной точки произведению массы  $m$  этой точки на её скорость  $v$  и направленную так же, как вектор скорости:  $p = mv$ ; то же, что Количество движения»;

«импульс — возбуждение, толчок, стимул, побуждение, удар, выброс, всплеск»;

«импульс — а, м. mpulsion f., нем. Impulsion, Impuls. Побудительная причина к какому л. действию; толчок, побуждение»;

«импульс — (*от латинского impulsus удар, толчок*), толчок, побуждение, стремление; побудительная причина».

Из этих понятий следует, что термин импульс, главным образом, *относится к кратковременным побудительным причинам и процессам*.

Применения этого термина для физической величины, определяемой формулой (2) является не корректным, так как эта величина может быть как кратковременной, так и длительной, как постоянной, так и переменной.

Итак, термины «количество движения» и «импульс» формально не соответствуют своему смысловому назначению. Следовательно, эти термины не могут удовлетворять специалистов и поэтому они их надо заменить.

Наиболее подходящим термином для величин, определяемых формулами (19) и (20) подходит слово *сознергия*.

*Сознергией материального тела (точки) будем называть произведение массы тела на его скорость. Сознергия величина векторная, её направление совпадает с направлением скорости.*

Соблюдая традиции, обозначим сознергию буквой  $K$ .

Тогда сознергия определится:

– для поступательно движущегося тела

$$\bar{K}_n = m\bar{V}; \quad (21)$$

– для вращающегося тела

$$\bar{K}_в = j\bar{\omega}. \quad (22)$$

Может возникнуть вопрос, почему эту величину целесообразно назвать сознергией.



Это объясняется тем, что сознергия определяет энергию тела.

Действительно, формулы (1, 2, 3, 16, 17), определяющие кинетическую энергию материального тела (точки), совершающей поступательное движение, в обобщенном виде можно записать следующим образом

$$T_n = amV^2 = amV \cdot V \cdot \cos \left( \overbrace{K_n; V} \right) = a \cdot \bar{K}_n \cdot \bar{V}, \quad (22)$$

где  $a = \frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2}, \dots$  — коэффициент, зависящий от вида движения тела.

Из (22) следует, что кинетическая энергия поступательного движения тела определяется, как скалярное произведение векторов сознергии и скорости

$$T_n = a \cdot \bar{K}_n \cdot \bar{V}. \quad (23)$$

Аналогично, формулы (4,18), определяющие кинетическую энергию материального тела, совершающего вращательное движение, в обобщенном виде можно записать следующим образом

$$T_e = aj\omega^2 = aj\omega \cdot \omega \cdot \cos \left( \overbrace{K_e; \omega} \right) = a \cdot \bar{K}_e \cdot \bar{\omega}, \quad (24)$$

где  $a = \frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2}, \dots$  — коэффициент, зависящий от вида движения тела.

Из (24) следует, что кинетическая энергия вращательного движения тела определяется, как скалярное произведение векторов сознергии и угловой скорости

$$T_e = a \cdot \bar{K}_e \cdot \bar{\omega}. \quad (25)$$

Аналогично формула А. Эйнштейна (5) примет вид

$$E = \bar{K} \cdot \bar{c}, \quad (26)$$

где  $\bar{K} = m\bar{c}$  — сознергия.

Видно, что из (23), (25) и (26) следует, что сознергия это одна из количественных величин, которая определяет энергию тела.

#### Выводы:

Установлено, что не сила, а энергия является основным, первичным понятием определяющим движение и взаимодействие материальных объектов;

Показано, что величина кинетической энергии материальных объектов и зависит от вида их движения, скорости и изменения их массы;

Предложено, широко распространенное, но лишённое физического смысла понятие *количество движения (импульс)*, заменить термином *сознергия*;

Показано, что кинетическая энергия тела определяется, как скалярное произведение векторов сознергии и скорости.

### Литература:

1. Ньютон Исаак. Математические начала натуральной философии. – М. : Наука, 1989. – 688 с.
2. Википедия. – URL : [http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%F2%E5%F0%E8%FF\\_\(%F4%E8%EB%EE%F1%EE%F4%E8%FF\)](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%F2%E5%F0%E8%FF_(%F4%E8%EB%EE%F1%EE%F4%E8%FF)).
3. Голубев Ю. Ф. Основы теоретической механики. 2-е изд. – М. : Изд-во МГУ, 2000. – 720 с.
4. Кузьмичев В.Е. Законы и формулы физики. – Киев : Наук. Думка, 1989. – 864 с.
5. Никитин Н.Н. Курс теоретической механики. – М. : Высш. шк., 1990. – 607 с.
6. Смелягин А.И. Объекты, для которых сформулированы аксиомы или законы классической механики // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – 2014. – № 1. – С. 21–25.
7. Смелягин А.И. Аксиомы или законы движения сформулировал И. Ньютон // Наука. Техника. Технологии (политехнический вестник). – № 2. – С. 11–16.
8. Кузьменко И.Н. БелГУ. Курс физики. Электронный учебник. – URL : [http://phys.bsu.edu.ru/projects/physics/mehan/zsohr/mer\\_dvi.htm](http://phys.bsu.edu.ru/projects/physics/mehan/zsohr/mer_dvi.htm)
9. Ишлинский А.Ю. Педагогическое мастерство ученого. – М. : Наука, 1975. – 120 с.
10. Кухлинг Х. Справочник по физике // Пер. с нем. – М. : МИП, 1983. – 520 с.
11. Халфман Р. Динамика // Пер. с англ. – М. : Наука, 1972. – 568 с.
12. Гинзбург В.Л. К трехсотлетию «Математических начал натуральной философии» Исаака Ньютона. Успехи физических наук. Том 151. Выпуск 1. – М. : Наука. 1987. – С. 119–141.

### References:

1. Newton I. Mathematical Principles of Natural Philosophy. – M. : Nauka, 1989. – 688 s.
2. Wikipedia. – URL : [http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%F2%E5%F0%E8%FF\\_\(%F4%E8%EB%EE%F1%EE%F4%E8%FF\)](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%F2%E5%F0%E8%FF_(%F4%E8%EB%EE%F1%EE%F4%E8%FF)).
3. Golubev J.F. Foundations of Theoretical Mechanics. 2nd ed. – M. : MGU, 2000. – 720 p.
4. Kuz'michev V.E. Laws and formulas of physics. – Kiev : Science. Dumka, 1989. – 864 p.
5. Nikitin N.N. Course of Theoretical Mechanics. – M. : Higher. wk., 1990. – 607 p.
6. Smelyagin A.I. Objects for which the axioms or laws of classical mechanics // Science. Engineering. Technology (Polytechnic Bulletin). – № 1. – P. 21–25.
7. Smelyagin A.I. Axioms or laws of motion formulated by Newton // Engineering. Technology (Polytechnic Bulletin). – № 2. – P. 11–16.
8. Kuz'menko I.N. BSU. Physics course. Electronic textbook. – URL : [http://phys.bsu.edu.ru/projects/physics/mehan/zsohr/mer\\_dvi.htm](http://phys.bsu.edu.ru/projects/physics/mehan/zsohr/mer_dvi.htm)
9. Ishlinskii A.Y. Pedagogical skills of the scientist. – M. : Nauka, 1975. – 120 p.
10. Kuhling H. Handbook of Physics // Translated from the German. – New York : Wiley, 1983. – 520 s.
11. Halfman R. Dynamics // Translated from English. – M. : Nauka, 1972. – 568 p.
12. Ginzburg V.L. To tercentenary «Mathematical Principles of Natural Philosophy» by Isaac Newton. Physics-Uspekhi. Volume 151. Issue 1. – Nauka. 1987. – P. 119–141.