

Научная статья

УДК 37.01, 373.1, 378.147, 372.853

DOI: <https://doi.org/10.29039/2949-1258/2026-2/143-151>

EDN: <https://elibrary.ru/PGPKZV>

Методологическое исследование физического понятия массы с энтропийной оценкой ее содержания

Гнитецкая Татьяна Николаевна

Гордиенко Юлия Дмитриевна

Жеребцов Клим Алексеевич

Дальневосточный федеральный университет

Владивосток. Россия

Аннотация. Обсуждаются методологические основания понятия массы. На основе анализа материалов, в которые кроме известных и популярных курсов физики входит и первоисточник – основы натурфилософии, показана приоритетность понятия массы как меры инерции перед массой как мерой инертности. Выбор подтвержден энтропийной оценкой содержания понятия массы и как меры инертности, и как меры инерции. Для этого выполнено моделирование содержания обоих концептов на основе информационной модели внутридисциплинарных связей (по Т. Н. Гнитецкой). Показано, что энтропия массы как меры инертности выше. Это обуславливает целесообразность использования в отечественных школьных и вузовских курсах физики только одного концепта – массы как меры инерции.

Ключевые слова: методология физики, масса, инерция, инертность, курс физики, информационная модель внутрпредметных связей, энтропия

Для цитирования: Гнитецкая Т. Н., Гордиенко Ю. Д., Жеребцов К. А. Методологическое исследование физического понятия массы с энтропийной оценкой ее содержания // Территория новых возможностей. Вестник Владивостокского государственного университета. 2026. Т. 18, № 2. С. 143–151. DOI: <https://doi.org/10.29039/2949-1258/2026-2/143-151>. EDN: <https://elibrary.ru/PGPKZV>

Original article

Methodological study of the physical concept of mass with entropy assessment of its content

Tatyana N. Gnitetskaya

Yulia D. Gordienko

Klim A. Zherebtsov

Far Eastern Federal University

Vladivostok. Russia

Abstract. This paper discusses the methodological foundations of the concept of mass. Based on an analysis of materials, including well-known and popular physics courses and the primary source – the Fundamentals of Natural Philosophy – the concept of mass as a measure of inertia is shown to have priority over mass as a measure of inertia. This choice is supported by an en-

© Гнитецкая Т. Н., 2026

© Гордиенко Ю. Д., 2026

© Жеребцов К. А., 2026

entropy assessment of the content of the concept of mass as both a measure of inertia and a measure of inertia. For this purpose, the content of both concepts was modeled using an information model of intradisciplinary connections (according to T. N. Gnitetskaya). It is shown that the entropy of mass as a measure of inertia is higher. This justifies the use of only one concept – mass as a measure of inertia – in Russian school and university physics courses.

Keywords: physics methodology, mass, inertia, inertia, physics course, information model of intradisciplinary connections, entropy

For citation: Gnitetskaya T. N., Gordienko Yu. D., Zherebtsov K. A. Methodological study of the physical concept of mass with entropy assessment of its content // *The Territory of New Opportunities. The Herald of Vladivostok State University*. 2026. Vol. 18, № 2. P. 143–151. DOI: <https://doi.org/10.29039/2949-1258/2026-2/143-151>. EDN: <https://elibrary.ru/PGPKZV>

Введение

В современных условиях развития науки и технологий, когда наука превращается в новую производительную силу и направлена на поиск междисциплинарных, практикоприменимых решений, взаимодействие физических, инженерных и гуманитарных наук принимает новую форму реализации. Интегративные научные исследования сопровождаются углублением дифференциации их научного содержания. В этой связи существенное значение приобретает сохранение методологических особенностей каждой отдельной науки. Чистота и точность содержания методологии отдельной науки обеспечивают корректность исследовательских междисциплинарных задач. Особенно это касается методологии физики, которая представляет собой учение о принципах, методах и формах познания физической реальности, существующей в микро-, макро- и мегасостояниях. Неоспорима мировоззренческая значимость и междисциплинарный характер физики – отдельной науки, неразрывно связанной с астрофизикой, космологией и частично с философией. В первой половине прошлого века была введена методологическая категория – физическая картина мира (ФКМ). «ФКМ является высшим уровнем обобщения и систематизации физического знания, на котором наиболее полно осуществлена связь физики, философии и естествознания» [1]. Физика исторически развивалась поэтапно, накапливая научные знания для описания окружающего мира. В концепции эволюции ФКМ эти этапы отражены как механическая, электродинамическая и квантовополевая картины. Основу ФКМ составляют физические законы, теории, модели, принципы и понятия. Особую важность в этой связи приобретают фундаментальные понятия. К фундаментальным физическим понятиям относят такие, без которых невозможно обойтись при объяснении большинства физических явлений. Одним из фундаментальных является физическое понятие массы. Несмотря на кажущуюся очевидность семантики данного понятия, до сих пор в курсах физики разных образовательных уровней встречаются несовпадающие определения массы. Эта проблема не является дискуссионной, ее отмечают многие авторы [2–4]. Например, Л. В. Дубицкая: «...ознакомившись с материалом разных учебников для курса физики 7-го класса, учитель не только должен определиться, о какой массе он будет рассказывать обучающимся..., но и выбрать вариант изложения данного материала» [2]. В свое время Л. Б. Окунь утверждал, что имеет смысл только понятие инвариантной массы (массы покоя) [3]. Таким образом, выяснение семан-

тики и степени энтропии содержания понятия массы требует отдельного методологического исследования.

Цель исследования – энтропийная оценка содержания понятия массы в разных концептах, связанных с инерцией или инертностью, на основе информационной модели внутрипредметных связей для оптимизации семантики массы.

Для достижения цели потребовалось решить следующие *задачи*:

1) на основе анализа научных работ, посвященных введению и обсуждению понятия массы, проследить историю происхождения понятия массы и причины ее различных трактовок;

2) представить содержание массы по отличающимся определениям разных авторов в иерархических конструкциях методом смысловых структур и выполнить оценку энтропии.

Методы исследования. В исследовании использовались материалы, включающие курсы физики разных авторов и исторические первоисточники этих курсов, метод смысловых структур и информационная модель внутрипредметных связей, направленные на иерархическое структурирование содержания понятия массы и количественную оценку его неупорядоченности. Методологический анализ информации не может быть полным, если он не дополнен количественными расчетами, так как именно такой анализ позволит начать научно обоснованное достижение цели исследования. Отметим также, что отсутствие количественной оценки является наиболее слабым звеном научного обоснования образовательного процесса и ставит под сомнение возможность такого обоснования.

Основная часть

В последнее время все чаще обсуждается вопрос оптимизации содержания дисциплины физики, которая имеет давнюю историю. Ученые отмечали сложность физического описания закономерностей природы. И дело даже не в математическом формализме, который изобилует в физике, а в большом количестве абстракций, осознание которых требует от обучающихся определенных интеллектуальных усилий. И чем дальше развивается наука физика, тем больше возникает новых абстракций и терминов. Исключить абстракции из описания мира невозможно, но можно исключить дублирующие друг друга термины и понятия. Ответ на вопрос, какой из двух терминов оставить, не может быть просто мнением, он должен быть научно обоснован с привлечением количественных методов.

С нашей точки зрения, признаком, по которому следует устанавливать важность абстракции, является низкий уровень энтропии содержания связанного с ней термина. Чем меньше энтропия, тем точнее образ термина и легче воспринять эту абстракцию. Рассмотрим выбор одного из двух способов определения абстракции – понятия массы, используемой во втором законе Ньютона. Это так называемая динамическая масса. Выбор осуществляется на основании результата расчета энтропии содержания понятия массы, сформулированной этими двумя способами. Расчет проводился с помощью информационной модели внутрипредметной связи [5, 6].

Исаак Ньютон о массе

С детских лет, сталкиваясь с проявлениями природных закономерностей, все люди на планете получают их объяснение с помощью законов механики И. Ньютона. Со школы мы впитываем три закона Ньютона, его пространство и время, закон всемирного тяготения и многое другое. Безусловно, физика не стоит на месте, многие термины получили уточнение, а теории – развитие на уровне других энергий в области микромира. Но вот что интересно. Масса – один из общеизвестных терминов, который, по-нашему мнению, ввел в физику И. Ньютон. Однако в своем трактате «Математические начала натуральной философии» [7] (далее будем называть «Начала») И. Ньютон с большой осторожностью использовал термин «масса», значение которого кажется очевидным для любого современного человека. Трактат был написан на латинском языке и претерпел переводы на русский (академик А. Крылов, 1936 г.), английский (Мотт, с дополнениями математика Эмерсона, 1803 г.), немецкий (Вольферсон, 1872 г.) языки.

Анализ латинского и русского текстов был сделан русским физиком В. Г. Фридманом в 1957 г. [8]. В своей статье он отмечал, что термин «масса» в переводах трактата Ньютона в большинстве случаев поставлен в скобках переводчиком. Сам же Ньютон использует термин «масса» на протяжении своей огромной работы лишь семь раз и в первый раз тогда, когда речь идет об инерции массы. В работе термин «масса», конечно, означает не что иное, как тело или материю, тем более что через строчку он пишет об инерции материи – «...inertia materiae...» (лат.) и тут же «...inertia massae...» (лат.). По мнению В. Г. Фридмана, количество движения происходит от количества материи – «quantitas materiae» (лат.) и скорости. Кроме того, в современном динамическом смысле термина «масса» он значительно чаще употреблял ряд других терминов. В. Г. Фридман приводит ньютоновские термины: «материя» – «...materia...» (лат.), использована в «Началах» 36 раз; «сфера» – «...sphaera...» (лат.) – 9 раз, «запас материи» – «...copia materiae...» (лат.) – 3 раза, «величина» – «...magnitude...» (лат.) – 1 раз, «инерция или сила инерции» – «...vis inertiae...» (лат.) – 2 раза. Как отмечено, Эйлер также нередко вместо термина «масса» применял термин «инерция» или «сила инерции». Заметим, что ни единого упоминания об инертности в «Началах» не найдено.

Об инертной массе

Понятие инертной массы появилось в начале XX в. в русских учебниках физики. Авторы статьи видят причину возникновения этого термина в неоднозначности перевода с английского Inertion. Смысл инертной массы заключается буквально в том, что подразумевается «тяжелая масса». Вводится этот термин в школьных учебниках в самом начале курса физики перед описанием явления инерции. Причем семантика термина во всех источниках одинакова. Масса трактуется как мера инертности тел и разъясняется как способность тела сопротивляться изменению своей скорости при действии на него других тел. Инерцией же называют явление сохранения скорости тела при отсутствии действия на него

других тел. Определение инертности и инерции приведено нами из содержания двух наиболее популярных в России школьных учебников физики [9, 10]. Созвучность терминов инертности и инерции, их близость по семантике и практически одновременное изложение в содержании школьного курса физики вызывают некоторую путаницу и закономерные вопросы: «А нужны ли два концепта (инерция и инертность) для объяснения инерционных свойств тел?» и «Нужно ли вводить понятие массы как меры инертности?» Причем в американских курсах физики [12] и в некоторых российских [11] масса вводится как мера инерции, а об инертности нет даже упоминания.

Содержание популярного учебника физики под редакцией академика Г.С. Ландсберга (российского издания) [11] отличается высоким уровнем физической корректности. С нашей точки зрения, целесообразность оптимизации содержания российских учебников по физике в части введения массы очевидна. Следует оставить одно определение динамической массы и связать его с инерцией или с инертностью. Остается выбрать – какое? Ответ на этот вопрос также прогнозируем – это инерция. Данный термин используется при описании большого количества теоретических физических задач. Удручает, что учащиеся 7-х классов, изучившие материал в школе по теме массы, продемонстрировали катастрофическое непонимание этой абстракции. Так, на вопрос «Дайте определение массы» из 100 человек лишь 7 ответили, что это мера инертности. А вот инерцию 40 школьников связали с законом инерции. Вывод: инерция как явление, связанное с законом, лучше усваивается учащимися, чем инертность. Можно подтвердить правильность выбора термина, оценив энтропию содержания обоих понятий и отдав предпочтение тому, у которого ее значение меньше. В данной статье оценка энтропии проводится по разработанному автором методу, опубликованному в работах [5, 6].

Энтропийная оценка содержания понятия массы

В рамках информационной модели внутрипредметной связи квадрат энтропии содержания физического понятия сопоставляется количественной характеристике U – объему информации, содержащейся в графе, синонимичному смысловой структуре массы. На рисунке 1 изображен граф понятия массы как меры инертности, а на рис. 2 – понятия массы как меры инерции. Даже визуально видно, что первый граф сложнее, в нем десять уровней абстракции, во втором – на четыре меньше. Конфигурационно первый граф более неупорядочен, чем второй. Можно ожидать большее значение энтропии в графе на рис. 1, чем в графе на рис. 2.

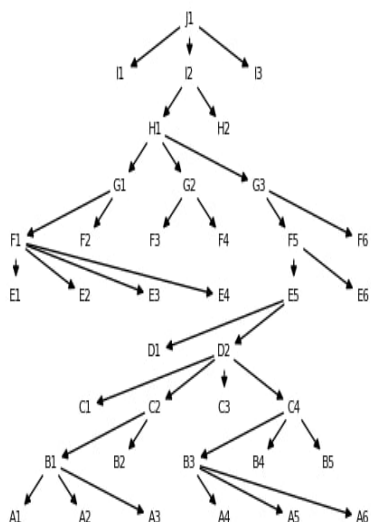


Рис. 1. Граф содержания понятия массы как меры инертности

Обозначения, принятые на рис. 1: A₁ – тележка; A₂ – тележка с грузом; A₃ – взаимодействие; A₄ – стрела; A₅ – тетива; A₆ – взаимодействие; B₁ – движение тележек; B₂ – одинаковый интервал времени; B₃ – выстрел; B₄ – полет стрелы; B₅ – движение тетивы; C₁ – длинное путь тележки без груза; C₂ – разный путь тележек; C₃ – короче путь тележки с грузом; C₄ – разная скорость стрелы и тетивы; D₁ – один интервал времени; D₂ – разная скорость тележек; E₁ – начальная скорость, V₀ = 0; E₂ – скорость тележки с грузом, V₁ = 10 м/с; E₃ – скорость тележки без груза, V₂ = 20 м/с; E₄ – взаимодействие тележек; E₅ – масса влияет на изменение скорости тележки; E₆ – меньше скорость у тележки с грузом; F₁ – (V₂ = 2V₁); F₂ – обратная связь массы со скоростью; F₃ – (V₁ = V₂); F₄ – взаимодействие изначально покоившихся тележек; F₅ – обратная связь массы со скоростью; F₆ – изменение скоростей тележек; G₁ – (m₂ = m₁/2); G₂ – (m₁ = m₂); G₃ – сравнение масс тележек; H₁ – чем больше скорость тела после взаимодействия, тем меньше масса; H₂ – тела по-разному меняют скорость после взаимодействия; I₁ – больше скорость – меньше инертность; I₂ – инертность; I₃ – меньше скорость – больше инертность; J₁ – масса как мера инертности тела.

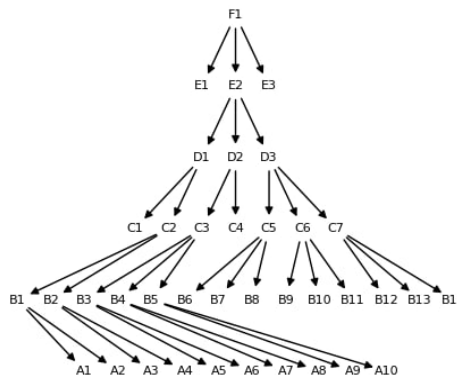


Рис. 2. Граф содержания понятия массы как меры инерции

Обозначения, принятые на рис. 2: A₁ – летящая пуля (тело 1); A₂ – воздух; A₃ – движущийся велосипед (тело 1); A₄ – нет трения; A₅ – горка песка (препятствие – тело 2); A₆ – остановка тележки в А; A₇ – рассыпанный песок (трение – тело 2); A₈ – остановка тележки в В; A₉ – поверхность стола (тело 2); A₁₀ – остановка тележки в С; B₁ – нет тела 2; B₂ – нет действия тела 2 на тело 1; B₃ – сильное воздействие; B₄ – среднее воздействие; B₅ – сильное воздействие; B₆ – мяч летит в ракетку; B₇ – удар ракетки; B₈ – отбитый ракеткой мяч; B₉ – движение шайбы; B₁₀ – удар клюшкой; B₁₁ – движение шайбы от клюшки; B₁₂ – движение молекулы к стенке; B₁₃ – столкновение; B₁₄ – полет молекулы от стенки; C₁ – тело; C₂ – отсутствие воздействия; C₃ – воздействие других тел; C₄ – опыт с ракеткой; C₅ – опыт с клюшкой; C₆ – пример с молекулами; D₁ – сохранение скорости; D₂ – изменение скорости; D₃ – изменение направления скорости; E₁ – мера; E₂ – инерция; E₃ – тело; F₁ – масса.

Приведем необходимые для расчета количественные характеристики графа:

J_c – количество связей в данной структуре;

m – количество пучков с рангом связности k_i ;

k – ранг связности пучка – число связей выделенного элемента с соподчиненными элементами;

$\varphi(k, J)$ – степень абстрагирования, $\varphi(k, J) = \frac{\log_2((k-1)J+1)}{\log_2 k}$;

k_{cp} – средний показатель связности, $k_{cp} = \frac{J_c}{m}$;

q_n – вероятность данной семантической единицы, $q_n = \frac{q_{n-1}}{\varphi_n \sum_{i=1}^k (\varphi_n)^{-i}}$, где

q_{n-1} – вероятность высшей семантической единицы, принадлежащей вышерасположенной ступени графа.

Расчет приведенных выше характеристик позволил вычислить конфигурационный параметр каждого графа – им является коэффициент относительной энтропии

$$E = \frac{H'}{H},$$

где $H = \log_2 J_k$; $H' = -\sum_{i=1}^{J_k} q_i \log_2 q_i$

Зная

$$U_0 = J^2 \left(\frac{\log_2((k_{cp}-1)J+1)}{\log_2 k_{cp}} \right)^2,$$

рассчитаем объем информации, заключенной в семантическом графе понятия, по соотношению

$$U = \frac{U_0}{E}.$$

Для понятия массы как меры инертности тела объем информации U составляет **79 782 бит²**. Это значение больше, чем полученное для массы как меры инерции **$U = 75 216$ бит²**. Видно существенное отличие энтропии для этих двух способов задания массы. В выигрыше оказывается масса как мера инерции. Полученный результат подтверждает сделанное на интуитивном уровне предположение в пользу приоритетности массы как меры инерции тела в содержании школьного курса физики и исключение из него массы как меры инертности. Такое изложение уменьшит неупорядоченность в восприятии обучающимися такой физической абстракции, как масса (в динамическом контексте), и оптимизирует содержание курса физики.

Заключение

Таким образом, результаты методологического исследования о содержании понятия динамической массы имеют высокую теоретическую и практическую значимость. Они могут быть рекомендованы для оптимизация содержания курсов физики разных образовательных уровней. Полученные результаты свиде-

тельствуют в пользу введения в школьных курсах физики массы как меры инерции. Изменения в содержании помогут снизить уровень сложности в восприятии массы и приведут к однозначности ее определения в динамическом контексте.

Список источников

1. Ефименко В.Ф. Физическая картина мира и мировоззрение. Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 1997. 160 с.
2. Дубицкая Л.В. Изучение общенаучного понятия «масса» в профильной школе // Школа будущего. 2015. № 5. С. 123–133. EDN VXBIPB
3. Окунь Л. Б. Понятие массы (масса, энергия, относительность) // Успехи физических наук. 1989. Т. 158, вып. 3. С. 511–530.
4. Терегулов Ф. Ш. К понятию массы тела или трудности на пути глубинного отображения эволюции материи // международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2013. № 8-3. С. 54–70. EDN QZYEAZ
5. Gnitetskaya T. N. The entropy estimation of the physics' course content on the basis of intradisciplinary connections' information model // Journal of Physics: Conference Series. 2016. № 738 (1). С. 012079. DOI: 10.1088/1742-6596/738/1/012079
6. Гнитецкая Т.Н., Иванова Е.Б., Резник Б.Л. Оценка энтропии междисциплинарного содержания курса физики на основе информационной модели отношений между предметами: монография. Владивосток: Изд-во Дальневост. федерал. ун-та, 2017. 120 с. ISBN 978-5-7444-4184-5
7. Is. Newton Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica Londini iussu Societatis Regiæ ac typis Josephi Streater, anno MDCLXXXVI 1686.
8. Фридман В.Г. О доктрине Ньютона о массе // Успехи физических наук. 1957. Т. LXI, № 23. 451 с.
9. Пурышева Н.С. Физика. 7 класс: учебник для общеобразовательных школ. Москва: Дрофа, 2013.
10. Перышкин А.В. Физика. 7 класс: учебник для общеобразовательных школ. Москва: Дрофа, 2013.
11. Ландсберг Г.С. Учебник элементарной физики. Москва: Наука, 2023.
12. Serway R. A., Faughn J. S. College physics. NY: Harcourt Brace College Publishers, 1995.

References

1. Efimenko V.F. Physical picture of the world and worldview. Vladivostok: Publishing House Dalnevost. University; 1997. 160 p.
2. Dubitskaya L.V. Study of the general scientific concept of "mass" in specialized schools // *School of the Future*. 2015; (5): 123–133. EDN VXBIPB
3. Okun' L. B. The concept of mass (mass, energy, relativity). *Uspekhi fizicheskikh nauk*. 1989; 158 (3): 511–530.
4. Teregulov F. Sh. Towards the concept of body mass or difficulties on the path to deep mapping of the evolution of matter. *International journal of applied and fundamental research*. 2013; (8-3): 54–70. EDN QZYEAZ
5. Gnitetskaya T. N. The entropy estimation of the physics' course content on the basis of intradisciplinary connections' information model. *Journal of Physics: Conference Series*. 2016; 738 (1). P. 012079. DOI: 10.1088/1742-6596/738/1/012079
6. Gnitetskaya T. N., Ivanova E. B., Reznik B. L. Assessment of the entropy of the interdisciplinary content of the physics course based on an information model of relations between

- subjects: monograph. Vladivostok: Publishing House Dalnevost. federal. University; 2017. 120 p. ISBN 978-5-7444-4184-5
7. Is. Newton Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica Londini iussu Societatis Regiæ ac typis Josephi Streater, anno MDCLXXXVI 1686.
 8. Friedman V. G. On Newton's doctrine of mass. *Successes of the physical sciences*. 1957; LXI (23). 451 p.
 9. Purysheva N. S. Physics. Grade 7: textbook for secondary schools. Moscow: Bustard; 2013.
 10. Peryshkin A. V. Physics. Grade 7: textbook for secondary schools. Moscow: Bustard; 2013.
 11. Landsberg G. S. Textbook of elementary physics. Moscow: Nauka; 2023.
 12. Serway R. A., Faughn J. S. College physics. NY: Harcourt Brace College Publishers; 1995.

Информация об авторах:

Гнитецкая Татьяна Николаевна, д-р пед. наук, профессор, Департамент общей и экспериментальной физики, ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», г. Владивосток, gnitetskaya.tn@dvfu.ru

Гордиенко Юлия Дмитриевна, студент магистратуры, ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», г. Владивосток, gordienko.yd@dvfu.ru

Жеребцов Клим Алексеевич, студент специалитета, ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», г. Владивосток, zherebtsov.ka@dvfu.ru

DOI: <https://doi.org/10.29039/2949-1258/2026-2/143-151>

EDN: <https://elibrary.ru/PGPKZV>

Дата поступления:
18.05.2026

Одобрена после рецензирования:
28.05.2026

Принята к публикации:
02.06.2026