Аксиоматика Системы Ньютона

Клящицкий Григорий (GK)

1 Введение

Аксиомы являются базовым элементом любого системного построения. Аксиома – это утверждение, принимаемое верным без доказательств. Как очевидно, вопрос об обосновании Аксиом не ставится по определению. В то же время, для любого системного построения остаётся вопрос: возможно ли определить более базовую (более фундаментальную) Аксиоматику, то есть предложить Аксиомы, из которых, например, Законы Ньютона получались бы как логические следствия?
Мы привыкли считать систему Ньютона абсолютом, и для большинства читателей этот вопрос покажется излишним. Хотя мне не встречались такие попытки, но полагаю, что я не первый, кто его ставит. Как это ни покажется странным, но ответ на предложенный вопрос, скорее всего, положительный.

2 Законы Ньютона

В статье «Философия законов Ньютона – Часть II» проводится анализ Законов Ньютона в оригинальной и современной формулировках. Анализ показывает глубокие различия между этими формами законов. Я полагаю что, невзирая на достижения современной науки, смысл Законов следует искать в оригинальных формулировках автора. Поэтому далее мы будем оперировать оригинальными формами Законов Ньютона (Исаак Ньютон «Математические начала натуральной философии» под ред Л.С.Полака, Москва, «Наука» 1989). Тем не менее, мы не станем пренебрегать достижениями современной науки. Напротив, мы попытаемся проанализировать смысл Законов Ньютона в свете фундаментальных современных концепций.

Система Ньютона строится по классической схеме:

- определяются основные понятия;
- даются формулировки Аксиом (законы Ньютона);
- на этой базе с помощью логики (математики) строится сама многообразная система.

2.1 Определения

Как и положено при систематическом построении, вначале Ньютон даёт определения основных понятий. Мы приведём только те, которые важны в контексте текущей статьи.

2.1.1 Количество Материи – Масса

Количество материи (масса) есть мера таковой, устанавливаемая пропорционально плотности и объёму её.

Далее Ньютон даёт пояснения, которые сводятся к методу рассчёта массы как произведения плотности и объема.

2.1.2 Количество Движения

Количество движения есть мера такового, устанавливаемая пропорционально скорости и массе.

Далее Ньютон разъясняет понятие «Количество Движения», из которого следует, что «мера» определяется как произведение скорости движения и массы тела.

2.2 Первый Закон Ньютона

Первый Закон Ньютона определяет поведение материального тела (материальной точки) в пространстве в отсутствии внешнего воздействия:

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

В Первом Законе под «состоянием покоя» Ньютон понимает неизменность координат тела в пространстве. Эта трактовка соответствует системе Аристотеля, которая была основополагающей до появления законов Ньютона.

2.3 Второй Закон Ньютона

Второй Закон Ньютона определяет поведение материального тела (материальной точки) в пространстве при внешнем воздействии:

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

2.4 Третий Закон Ньютона

Третий Закон Ньютона определяет взаимоотношение материального тела (материальной точки) с окружением, воздействующим на него:

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

3 Анализ системы Ньютона

3.1 Аксиома Движения

Первый Закон Ньютона определяет поведение тела в свободном движении. Закон утверждает, что

(A): в отсутствии внешнего воздействия тело будет демонстрировать прямолинейное движение.

В отношении свободного движения тела можно предложить более общее утверждение:

Аксиома Движения (I):

В отсутствии внешнего воздействия движение тела демонстрирует свойства Пространства.

3.1.1 Линейность Пространства

В течение многих столетий люди считали Линейность неотъемлемым свойством Пространства. Это нашло отражение в геометрических построениях. Пятая Аксиома Евклида утверждает линейную характеристику Пространства.

Если мы примем *Аксиому Движения(I)*, то мы автоматически получаем утверждение (*A*).

3.2 Аксиома Импульса

Во времена Ньютона понятия Инвариантов ещё не сложились, и мы не вправе ожидать такого предвидения со стороны Ньютона (столь же смелого, сколь и необоснованного). В наше время концепция Инвариантов является основополагающей, и нам следует ею воспользоваться.

Поскольку свободное движение тела является Линейным, а инвариантом линейного движения является Импульс (***p***), мы приходим к формулировке следующего утверждения:

(B): в отсутствии внешнего воздействия тело будет демонстрировать движение сохраняющее Импульс.

Базовое понятие движение – Количество Движения (***q***), определённое Ньютоном, в точности соответствует определению Импульса:

$$\boldsymbol{q} = \boldsymbol{m} * \boldsymbol{v} \qquad (1.1)$$

$$\boldsymbol{p} = \boldsymbol{m} * \boldsymbol{v}, \qquad (1.2)$$

что автоматически означает:

(B1): в отсутствии внешнего воздействия тело будет демонстрировать поведение сохраняющее Количество Движения.

Мы не вправе критиковать Ньютона, но, учитывая что формулировка Второго Закона базируется на изменении Количества Движения (а не скорости), было бы более последовательным сформулировать Первый Закон пользуясь концепцией Количества Движения. В таком случае Первый Закон Ньютона выглядел бы следующим образом:

Всякое тело продолжает удерживаться в состоянии покоя или прямолинейного движения, сохраняющего неизменным количество движения, пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменить это состояние.

Учитывая, что «состояние покоя» (неподвижности), о котором говорится в Первом Законе, является частным случаем движения, сохраняющего Импульс постоянным, окончательная формула Первого Закона принимает вид:

(***C***): *Всякое тело продолжает удерживаться в состоянии прямолинейного движения, сохраняющего неизменным количество движения, пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменить это состояние.*

3.3 Аксиома Массы

Масса Тела является ключевым понятием системы Ньютона. Следует отметить, что Масса в явном виде не присутствует в Законах Ньютона. В то же время, понятие Массы является частью Определений, и Масса является составляющей Количества Движение (1.1), характеристики, являющейся основным параметром движения в Системе Ньютона.

Формально в Законах Ньютона отсутствует требование неизменности Массы. На деле же неизменность Массы является необходимым условием Первого Закона Ньютона. Действительно, если рассматривать формулировку Первого Закона как условие неизменности Количества Движения (***C***):

$$\boldsymbol{q} = const, \tag{1.3}$$

то из определения Количества Движения (1.1) получим условие неизменности Массы Тела:

$$\boldsymbol{m} = const \tag{1.4}$$

как необходимое условие оригинальной формулировки Первого Закона Ньютона (неизменности линейной скорости):

$$\boldsymbol{v} = const \tag{1.5}$$

3.3.1 Характеристика Тела – Масса

Понятие Массы Тела является ключевым понятием системы Ньютона. Давая определение этому понятию, Ньютон называет его «количеством материи». О том, что масса является

характеристикой, определяющей важнейшие свойства тела и, в частности, его поведение в пространстве, определение Ньютона не указывает.
В свете сегодняшних представлений можно предложить следующую трактовку сущности понятия «масса». Если Тело не претерпевает изменений (остаётся самим собой), то можно предположить, что имеется некая характеристика Тела, которая остаётся неизменной. Поскольку движение Тела не меняет Тело как таковое, то в процессе перемещения в Пространстве эта характеристика Тела будет сохранять своё значение. Если назвать предполагаемую характеристику Массой Тела, то мы определим смысл этого понятия. Тем самым мы приходим к иному определению понятия «масса».

Масса (определение):
Материальное Тело обладает характеристикой, которая остаётся неизменной, пока и поскольку Тело остаётся неизменным. Эта характеристика называется массой.

В данной трактовке речь не идёт о «количестве материи». В качестве базиса понятия «масса» выдвигается устойчивая характеристика Тела как такового. В определении «массы» заложено, что эта характеристика зависит только и исключительно от самого объекта (Тела).
Очевидно, что опреление Ньютона и предлагаемое определение связаны между собой. Являются ли они взаимозаменяемыми?
«Количество материи» (масса) в определении Ньютона не зависит от движения тела в пространстве, и с этой точки зрения предложенное выше определение массы как неизменной характеристики тела соответствует Ньютонову определению.
В то же время, предлагаемое определение указывает на неизменность Тела как на условие неизменности характеристики. Что произойдёт с характеристикой при изменении формы тела? С точки зрения определения Ньютона «количество материи» не изменится, и «масса» сохранит своё значение. Предложенное выше условие этого не утверждает.
Очевидно одно (*реактивное движение не входит в картину Ньютона и мы её не рассматриваем*): поскольку в процессе движения Тело не меняется, верно следующее утверждение.

Аксиома Неизменности Массы (II):
В процессе движения тела в пространстве масса тела остаётся неизменной.

$$\boldsymbol{m} = const \qquad (1.4)$$

3.4 Аксиоматика Первого Закона Ньютона

Базовая Аксиоматика Первого Закона Ньютона выглядит следующим образом:

Аксиома Линейности Пространства (Евклид):
Пространство является Линейным.

Аксиома Свободного Движения (I):
В отсутствии внешнего воздействия движение тела демонстрирует свойства Пространства.

Аксиома Неизменности Массы (II):
Материальное Тело обладает характеристикой, которая в процессе движения тела остаётся неизменной при условии, что Тело не претерпевает изменений. Эта характеристика называется Массой Тела.

3.4.1 Вывод Первого Закона Ньютона

Рассмотрим, как предлагаемая Аксиоматика трансфрмируется в утверждение Первого Закона Ньютона.
Аксиома Движения и Аксиома Линейности совместно приводят к Положению (***A***):
В отсутствии внешнего воздействия тело движется линейно (прямолинейно).

Поскольку Импульс является инвариантом линейного движения, приходим к Положению (***B***):
В отсутствии внешнего воздействия Импульс (Количество Движения) Тела сохраняется неизменным.

Принимая Аксиому Неизменности Массы, получим условие неизменности скорости (Положение ***D***):
В отсутствии внешнего воздействия скорость тела сохраняется неизменной.

Объединяя Положение (***A***) и Положение (***D***) в одно утверждение, получаем формулировку Первого Закона Ньютона:
В отсутствии внешнего воздействия тело движется прямолинейно и равномерно.

3.5 Второй Закон Ньютона

Второй Закон Ньютона не является следствием предложенных выше Аксиом Движения и Линейности. Оригинальная форма Втрого Закона определяет изменение Количества Движения от внешнего воздействия:
Изменение количества движения пропорционально приложенной силе и происходит по направлению той прямой, по которой эта сила действует.

Обращает на себя внимание неполнота формулы Второго Закона: он определяет пропорциональность изменения Количества Движения, не определяя равенство. Более того, форма не оговаривет второй параметр взаимоотношения (см. «Философия законов Ньютона – Часть II»): «*изменение количества движения пропорционально приложенной силе*»:

$$\boldsymbol{F} \sim \Delta \boldsymbol{p} \qquad (2.1)$$

где F – приложенная сила;

Δp – изменение количества движения.

В оригинальной формулировке время не оговаривается, и это очень существенно. В современной интерпритации Второй Закон записывается как:

$$\boldsymbol{F} = \partial \boldsymbol{p}/\partial \boldsymbol{t} \qquad (2.2)$$

Раскрывая (2.2):

$$\boldsymbol{F} = \partial(\boldsymbol{m}*\boldsymbol{v}) \,/\, \partial \boldsymbol{t} = \boldsymbol{m}*\partial \boldsymbol{v}/\partial \boldsymbol{t} + \boldsymbol{v}*\partial \boldsymbol{m}/\partial \boldsymbol{t} \qquad (2.2a)$$

Принимая Аксиому Неизменности Массы (*II*): $\boldsymbol{m}=const$ (1.4), второе слагаемое обращается в ноль и получаем современную формулировку Второго Закона Ньютона:

$$\boldsymbol{F} = \boldsymbol{m}*\partial \boldsymbol{v}/\partial \boldsymbol{t} = \boldsymbol{m}*\boldsymbol{a} \qquad (2.3)$$

В инерциальных системах отсчёта *ускорение, приобретаемое материальной точкой, прямо пропорционально вызывающей его силе, совпадает с ней по направлению и обратно пропорционально массе материальной точки.*

Как видим, Аксиома Неизменности Массы неявно присутствует в современной формулировке Второго Закона Ньтона. При этом различие между оригинальной формой Закона Ньютона и современной является весьма существенным.

4 Аксиоматика системы Ньютона и современные концепции

Со времени Ньютона прошло несколько столетий. В этот период наука расширила границы наших представлений о мире.

4.1 Электромагнитный квант

Представление о свете как элементе материального мира существовало давно. Ньютон и его современники ставили эксперименты, целью которых было понять физическую природу света. Экспериментальные результаты позволяли трактовать свет различным образом. В одних экспериментах свет вёл себя как частица, в других – демонстрировал волновые свойства. Соответственно, научные представления о природе света в разное время считали свет волной или частицей. Так продолжалось вплоть до конца 19-го столетия.

На рубеже 19-го и 20-го столетий Макс Планк выдвинул идею квантованности света. В теории Планка предполагалось, что свет является волной, но не непрерывной волной. Свет представлялся как малая волновая порция, которая существует самостоятельно. Это объясняло двойственную природу света и позволяло получить решения ряда фундаментальный вопросов и согласовать экспериментальные результаты. Не вдаваясь в историю вопроса, можно констатировать, что электромагнитный квант рассматривается как материя.

4.1.1 Свойства электромагнитного Кванта

Для электромагнитного Кванта имеем следующие положения:

- *Электромагнитный Квант является материей.*
- *Электромагнитный Квант – минимальный неделимый элемент материи.*
- *Электромагнитная волна перемещается в пространстве со Скоростью Света.*
- *Скорость Света есть величина постоянная: $c = const$.*

Скорость Кванта

Следует сказать об одной важнейшей особенности элекромагнитного кванта: скорость распространения электромагнитной волны (скорость кванта) есть величина постоянная и равна скорости света (c).

Энергия Кванта

Квант обладает энергией, форма которой определяется известным соотношением Планка:

$$E_\nu = h * \nu, \qquad (3.1)$$

где h – постоянная Планка;

ν – частота электромагнитной волны.

Импульс Кванта

Учитывая, что скорость Кванта есть скорость света (c), для импульса Кванта имеем:

$$p_\nu = h*\nu / c = h/c *\nu \qquad (3.2)$$

Масса Кванта

Для массы Кванта получаем соотношение:

$$m_\nu = h*\nu / c^2 = h/c^2 *\nu \qquad (3.3)$$

Таким образом, электромагнитный Квант обладает основными характеристиками материи. Это даёт нам право применить Законы Ньютона к описанию поведения кванта в пространстве. В отношении Первого Закона сложностей не возникает. Иначе обстоит дело со Вторым Законом Ньютона.

4.1.2 Второй Закон Ньютона

Рассмотрим Второй Закон Ньютона:

$$F = \partial p/\partial t = m*\partial v/\partial t + v*\partial m/\partial t \qquad (2.2а)$$

Для Кванта он примет вид:

$$F = m_\nu* \partial c/\partial t + c* \partial m_\nu/\partial t \qquad (2.2в)$$

Учитывая что Скорость Света постоянна: $c=const$, первое слагаемое обращается в ноль, и Второй Закон Ньютона принимает вид:

$$F = c* \partial m_\nu/\partial t \qquad (3.4)$$

Согласитесь, что (3.4) совсем не похожа на привычную форму Второго Закона (2.3)!

Для некоторых читателей соотношение (3.4) покажется «странным» и даже неверным. Однако эксперименты показывают, что при взаимодействии кванта с внешним объектом

меняется не скорость кванта а частота электромагнитной волны ($\boldsymbol{\nu}$). Масса Кванта связана с частотой Кванта соотношением (3.3). Учитывая, что Постоянная Планка и Скорость Света – константы, частота и масса кванта связаны между собой линейным соотношением. То есть изменение частоты электромагнитного Кванта немедленно означает изменение его массы.

Вывод

Из соотношения (3.4) следует, что масса Кванта не является неизменной характеристикой Тела. То есть ***для электромагнитной волны Аксиома Неизменности Массы не отвечает действительности***.

Читатель скажет, что этот вывод относится к электромагнитному Кванту, который является специфической формой материи. В отношении же материи традиционного типа Аксиома Неизменности Массы осаётся верной.

Должен разочаровать читателя. С массой традиционной материи тоже не всё в порядке.

4.2 Специальная Теория Относительности

В начале 20-го столетия Альберт Эйнштейн опубликовал статью, которая перевернула наши представления о пространстве. Дело в том, что эксперименты показывали, что Скорость Света постоянна и не зависит от внешних факторов. Более того, Скорость Света является максимально возможной скоростью перемещения материи в Пространстве. Это означало, что преобразования Галилея не согласуются с действительностью. Лоренц предложил иные преобразования, которые удовлетворяли условию максимума Скорости Света. Однако полноценной теории ему предложить не удалось. Эту задачу выполнил Альберт Эйнштейн, а теория получила название «Специальная Теория Относительности».

Мы не станем рассматривать теорию Эйнштейна. Нас в ней будет интересовать один вывод. Дело в том, что при приближении скорости тела к скорости света скорость более не может изменяться линейно, иначе тело преодолеет «световой барьер» скорости. Теория Относительности определяет иное поведение Тела в Пространстве, при котором масса тела зависит от скорости движения:

$$\boldsymbol{m_v = m_0 / \sqrt{(1 - v^2/c^2)}} \qquad (3.5)$$

где $\boldsymbol{m_0}$ – масса тела, находящегося в покое ($\boldsymbol{v} = 0$).

Вывод

Принимая теорию Эйнштейна, нам придётся отказаться от Акиомы Неизменности Массы, поскольку она утверждает что характеристика тела, называемая массой, зависит от самого тела и не зависит от движения тела в пространстве.

Казалось бы, этот вывод ставит крест на системе Ньютона, поскольку одна из Аксиом, на которых она базируется, имеет ограничения. Но это не совсем так.

Напомним, что Второй Закон Ньютона (оригинальная формулировка) не оперирует понятием массы и не делает никаких предположений относительно характеристики Тела. Второй Закон определяет изменение Количества Движения и в оригинальной форме остаётся верным.
Что касается Первого Закона, то мы указывали выше, что Первый Закон также можно определить через Количество Движения («C»), и в таком виде он не требует неизменности массы. Таким образом, если принять формулировку Первого Закона Ньютона в более общем виде, то система Ньютона опирается на Аксиому Линейности, как на единственное условие.
Однако, в отношении Линейности Пространства также произошли важные изменения.

4.3 Не-Линейность Пространства

Линейность Пространства не подвергалась сомнению в течение многих столетий. Однако во второй половине 19-го века отношение к этому свойству изменилось. Вначале пересмотр произошёл в геометрии.

4.3.1 Не-Евклидова Геометрия

Пятая Аксиома Евклида определяет линейное свойство пространства. Она много лет вызывала неудовлетворённость математиков. Дело в том, что форма этой аксиомы слишком сложна и более подходит для теоремы. В разное время математиками предпринимались попытки вывести пятую аксиому как следствие остальных аксиом, то есть доказать как теорему. Однако ни одна из этих попыток не привела к успеху.
Во второй половине 19-го столетия несколько математиков сделали попытку построить геометрию не используя Пятую Аксиому Евклида. Эти попытки оказались успешными. В результате появилась Не-Евклидова геометрия – геометрия искривлённых пространств, где линейное пространство являлось частным случаем (пространством нулевой кривизны).
Геометрия рассматривается как наука, описывающая свойства пространства. Конечно, далеко не все математические конструкции нашли своё отражение в реальном мире. В таком ракурсе Не-Евклидову геометрию можно было бы рассматривать как чисто математическую абстракцию, не имеющую представления в физическом мире. Но здесь вновь вмешался Альберт Эйнштейн.

4.3.2 Общая Теория Относительности

Через несколько лет после Специальной Теории Относительности Эйнштейн опубликовал расширенную теорию пространства-материи-движения. Она получила название «Общая Теория Относительности». Одной из главных идей этой теории была идея об искривлённости физического пространства. Причиной такого свойства являются поля, в частности гравитационное поле. Поле искривляет пространство, и электромагнитный квант, свободно двигаясь в пространстве, перемещается по искривлённой пространственной

траектории. На деле любое материальное тело в свободном движении перемещается по искривлённой траектории, что является отражением искривления пространства как такового. Общая Теория Относительности отменила Аксиому Линейности Пространства и поставила окончательную точку на системе Ньютона.

5 Современная Аксиоматика системы «Ньютона»

В результате современная Аксиоматика может выглядеть следующим образом.

Аксиома не-Линейности Пространства (I):
Пространство является искривлённым (не-Линейным).

Аксиома Свободного Движения (II):
В отсутствии внешнего воздействия движение тела демонстрирует свойства Пространства.

Аксиома Скорости Света (III):
Скорость перемещения электромагнитных волн (Скорость Света) неизменна.

Аксиома максимума Скорости (IV):
Любой материальный объект может перемещаться в пространстве со скоростью, не превышающей Скорость Света.

6 Заключение

Думаю, что многие читатели критически оценят эту статью. Конечно, наряду с классической (Ньютоновой) механикой более ста лет существует релятивистская механика, и ограничения Ньютоновой системы хорошо известны. Всё это так.
Релятивистский подход отражает принципы Теории Относительности и соответствует свойствам Скорости Света. В то же время, релятивистский подход не анализирует границы системы Ньютона и внутреннюю природу ограничений. Представленный в статье анализ призван прояснить ответ на этот вопрос.
С этим связана другая проблема. Суть её состоит в самой системе построения любой теоретической конструкции. Как мы не раз указывали, в основании любой системы лежат Аксиомы, утверждения, принятые истинными без доказательств. Как правило, Аксиоматика верна в определённых границах, которые мы не всегда можем указать и потому считаем Аксиомы абсолютами. Когда же мы в своем развитии приближаемся или переходим эти ограничения, система рассыпается. Правильным в таком случае было бы не формулировать независимую систему, параллельно «классической», а критически пересмотреть Аксиоматику классической системы. Расширенная Аксиоматика должна отражать новые отношения, при этом, включать классическую систему как составную часть (внутри известных границ). Этот шаг был выполнен в геометрии, где Евклидова геометрия является

частью геометрии искривлённых пространств при кривизне равной нулю (или очень малой). К сожалению в отношении системы Ньютона мы этот путь не прошли.
Данная статья является попыткой переосмыслить Аксиоматику Ньютона с тем, чтобы рассмотреть расширенную Аксиоматику. В этом отношении читатель может познакомиться с альтернативной Аксиоматикой, предлагаемой в следующих статьях:

Философия Законов Ньютона – заключение
Философия законов Ньютона
Философия законов Ньютона – Часть II
Положения «Ньютона» и законы сохранения
Законы Ньютона как общие положения

Равномерное вращение как состояние покоя – Часть I
Равномерное вращение как состояние Покоя – Часть II
Параметры Системы – параметры Состояния
Вращение в трёхмерном физическом пространстве

Уравнения физического вращения
Процессы Состояния Покоя – группа A
Процессы изменения Покоя – группа B

Октябрь, 2026