МЕХАНИКА НЬЮТОНА В ТЕОРИИ И ЭКСПЕРИМЕНТАХ

Седьмая глава «Механика Ньютона в теории и экспериментах» была написана на основе авторских брошюр «Обсуждение принципиальных вопросов механики Ньютона», изданной в МЕЖОТРАСЛЕВОМ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОМ ЦЕНТРЕ ВЕНЧУРНЫХ НЕТРАДИЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ (ВЕНТ) в 1992 году и Дополнения к названной работе, изданного там же в 1993 году.

При написании седьмой главы тексты названных брошюр и аналитика были существенно откорректированы, расширены и дополнены экспериментальными примерами.

Глава 7. Механика Ньютона в теории и экспериментах

«Когда я искал последние причины механизма и законов, хотя бы даже движения, я был до последней степени изумлен видеть, что их невозможно найти в области математики и что необходимо было вернуться к метафизике»

Лейбниц

«Количество движения есть мера такового, устанавливаемая пропорционально скорости и массе»

И. Ньютон

ВВЕДЕНИЕ

В истории науки известны примеры, когда классиков истолковывали неверно, и затем это ошибочное толкование закреплялось на долгие годы в научной и научно-популярной литературе, а следовательно, и в умах многих поколений ученых. Один из таких примеров подробно разбирается в статье академика Л.Б. Окуня [1]. В этой статье Л.Б. Окунь выступает против понятия «релятивистская масса» и аргументированно показывает, что А. Эйнштейн никогда не считал, будто бы масса зависит от скорости, что ему приписывается по сей день на основании формулы $\boldsymbol{m} = \boldsymbol{m}_0 \Big/ \sqrt{1 - \frac{\boldsymbol{V}^2}{\boldsymbol{C}^2}}$. Л.Б. Окунь пишет [1, с. 525]: «... масса, зависящая от скорости, заполнила большинство научно-популярных книг и брошюр, энциклопедий, школьных и вузовских учебников по общей физике, а также монографии, в том числе и книги выдающихся физиков, специально посвященные теории относительности». И далее: «... традиция использования массы, зависящей от скорости, оказалась столь живучей, что в своих знаменитых лекциях, опубликованных в начале 60-х годов, Фейнман положил её в основу глав, посвященных теории относительности».

Академик Л.Б. Окунь выдвигает пять аргументов против «релятивистской массы». Заканчивается критическая статья так: «Время не ждёт. Ежегодно миллионами экземпляров тиражируются книги, которые вбивают в головы подрастающих поколений ложные представления о теории относительности. Этот процесс необходимо остановить».

В цитированной статье имеется любопытное место [1, с. 524], где речь идёт об энциклопедической монографии 20-летнего студента Вольфганга Паули «Теория относительности»: «Паули решительно отбрасывает, как устаревшие, продольную и поперечную массы (а с ними и формулу $\boldsymbol{F = ma}$), но считает целесообразным пользоваться формулой $\boldsymbol{P = mV}$ ... ».

С последним нельзя не согласиться, ибо формула $\boldsymbol{F = ma}$ не соответствует приписываемой ей действительности. В действительности $\dfrac{\boldsymbol{m\,dV}}{\boldsymbol{dt}}$ означает производную от переменной силы по времени. Жаль только, что ни Паули – студент, ни Паули – выдающийся физик, чётко не определил мотивы своего «отбрасывания» до конца. Второй закон механики Ньютона, по аналогии с «эйнштейновской массой», получил неверное математическое оформление в 1736 году. И допустил эту досадную ошибку, как ни удивительно, гениальный Леонард Эйлер. Следствием названной ошибки (в том числе) явилось не совсем правильное понимание первого и третьего законов механики. В этой связи остаётся только присоединиться к заключительному призыву Л.Б. Окуня о необходимости остановить процесс распространения ложных представлений. Но предварительно необходимо дать исчерпывающий анализ допущенных ошибок и сделать их исправление. Этому и посвящена настоящая глава.

§1. Равномерно-ускоренное движение и движение с переменным ускорением. Равномерное прямолинейное движение и сила инерции

1.1. Сила и усиление

Начнем разговор с авторской формулировки второго закона Ньютона [2]: «Изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе и происходит по направлению той прямой, по которой эта сила действует».

Как известно, простейшей пропорциональной зависимостью является линейная зависимость

$$\boldsymbol{Y} = \boldsymbol{k}\boldsymbol{X}, \tag{1.1}$$

у которой, во-первых, каждому значению $\boldsymbol{X}$ соответствует определенное, единственное значение $\boldsymbol{Y}$:

$$\boldsymbol{Y}_1 = \boldsymbol{k}\boldsymbol{X}_1; \quad \boldsymbol{Y}_2 = \boldsymbol{k}\boldsymbol{X}_2; \quad \dots; \quad \boldsymbol{Y}_{\boldsymbol{n}} = \boldsymbol{k}\boldsymbol{X}_{\boldsymbol{n}}.$$

Во-вторых, коэффициент пропорциональности $\boldsymbol{k}$ непременно является постоянной величиной: $\boldsymbol{k} = \dfrac{\boldsymbol{Y}_1}{\boldsymbol{X}_1} = \dfrac{\boldsymbol{Y}_2}{\boldsymbol{X}_2} = \dots = \dfrac{\boldsymbol{Y}_{\boldsymbol{n}}}{\boldsymbol{X}_{\boldsymbol{n}}} = \boldsymbol{const}$.

Если, в частности, $\boldsymbol{k} = 1$, то по сути любой $\boldsymbol{Y}$ ничем не отличается от соответствующего $\boldsymbol{X}$:

$$\boldsymbol{Y}_{\boldsymbol{i}} \equiv \boldsymbol{X}_{\boldsymbol{i}}. \tag{1.2}$$

Теперь рассмотрим простейший случай равноускоренного движения тела под действием движущей силы, а именно – свободное падение тела с умеренной высоты, что позволяет пренебречь аэродинамическим сопротивлением и считать ускорение свободного падения постоянной величиной $\boldsymbol{g} = 9{,}8\,\dfrac{\text{м}}{\text{с}^2} = \boldsymbol{const}$. Построим соответствующий график Рис. 1, на котором по оси абсцисс отложим время падения тела вплоть до момента соударения с землей. Это время эквивалентно высоте падения

$$\boldsymbol{t} = \sqrt{\frac{2\boldsymbol{h}}{\boldsymbol{g}}}. \tag{1.3}$$

По оси ординат отложим «количество движения»

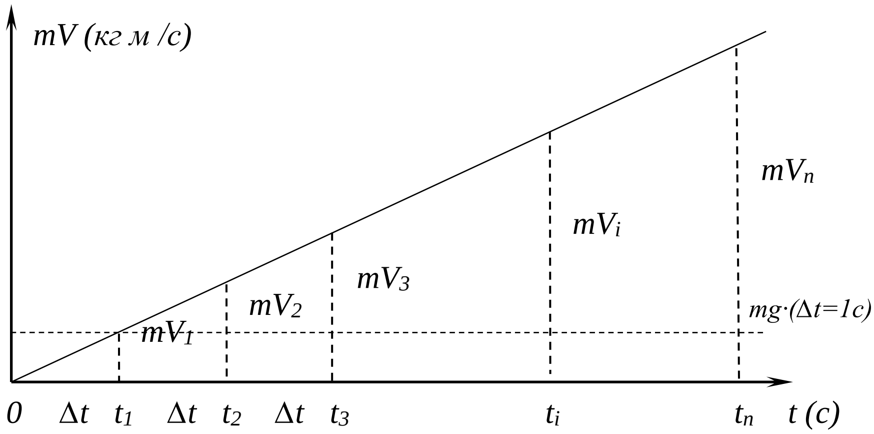


Рис. 1

В полном соответствии с ньютоновской формулировкой второго закона механики составим уравнения для точек $\boldsymbol{t}_1, \boldsymbol{t}_2, \boldsymbol{t}_3, \ldots, \boldsymbol{t}_{\boldsymbol{n}}$ ($\boldsymbol{t}_{\boldsymbol{n}}$ – момент соударения тела с землей):

$$\boldsymbol{mV}_1 - \boldsymbol{mV}_0 = \boldsymbol{m}\left(\boldsymbol{V}_1 - \boldsymbol{V}_0\right) = \boldsymbol{mV}_1 = \boldsymbol{mgt}_1 \equiv \boldsymbol{kF}_1;$$

$\boldsymbol{mV}_1$ – изменение количества движения от начала падения до момента $\boldsymbol{t}_1 = \Delta\boldsymbol{t} = \boldsymbol{const}$. $\boldsymbol{F}_1$ – движущая гравитационная сила, под действием которой тело движется в момент $\boldsymbol{t}_1$. Здесь $\boldsymbol{V}_0 = 0$ в начальный момент падения.

$$\boldsymbol{mV}_2 - \boldsymbol{mV}_0 = \boldsymbol{mV}_2 = \boldsymbol{mgt}_2 \equiv \boldsymbol{kF}_2;$$

$\boldsymbol{mV}_2$ – изменение количества движения от начала падения до $\boldsymbol{t}_2 = 2\Delta\boldsymbol{t} = 2\boldsymbol{t}_1$, $\boldsymbol{F}_2$ – сила, под действием которой движется тело в момент $\boldsymbol{t}_2$.

$$\boldsymbol{mV}_3 - \boldsymbol{mV}_0 = \boldsymbol{mV}_3 = \boldsymbol{mgt}_3 \equiv \boldsymbol{kF}_3;$$

$\boldsymbol{mV}_3$ – изменение количества движения от начала падения до $\boldsymbol{t}_3 = 3\Delta\boldsymbol{t} = 3\boldsymbol{t}_1$, $\boldsymbol{F}_3$ – сила, под действием которой движется тело в момент $\boldsymbol{t}_3$,

...

$$\boldsymbol{mV}_{\boldsymbol{i}} - \boldsymbol{mV}_0 = \boldsymbol{mV}_{\boldsymbol{i}} = \boldsymbol{mgt}_{\boldsymbol{i}} \equiv \boldsymbol{kF}_{\boldsymbol{i}};$$

$\boldsymbol{mV}_{\boldsymbol{i}}$ – изменение количества движения от начала падения до $\boldsymbol{t}_{\boldsymbol{i}} = \boldsymbol{i}\Delta\boldsymbol{t} = \boldsymbol{i}\,\boldsymbol{t}_{\boldsymbol{i}}$, $\boldsymbol{F}_{\boldsymbol{i}}$ – сила, под действием которой движется тело в момент $\boldsymbol{t}_{\boldsymbol{i}}$,

…

$$\boldsymbol{mV}_{\boldsymbol{n}} - \boldsymbol{mV}_0 = \boldsymbol{mV}_{\boldsymbol{n}} = \boldsymbol{mgt}_{\boldsymbol{n}} \equiv \boldsymbol{kF}_{\boldsymbol{n}};$$

$\boldsymbol{mV_n}$ – изменение количества движения от начала падения до момента удара тела о землю $\boldsymbol{t_n = n\Delta t = nt_1}$; $\boldsymbol{F_n}$ – сила удара тела о землю.

Если следовать существующей аналитической трактовке второго закона механики, согласно которой сила равна массе, умноженной на ускорение, то

$$\boldsymbol{F_1 = F_2 = F_3 = \ldots = F_n = mg},$$

и вышеприведенные уравнения движения принимают следующий парадоксальный вид $\boldsymbol{mgt_1 \equiv kmg}$; $\boldsymbol{mgt_2 \equiv kmg}$; $\boldsymbol{mgt_3 \equiv kmg}$; … ; $\boldsymbol{mgt_n \equiv kmg}$.

Отсюда с учётом того, что коэффициент пропорциональности $\boldsymbol{k}$ – постоянная величина, получаем следующий абсурдный результат

$\boldsymbol{t_1 = t_2 = t_3 = \ldots = t_n}$, или $\boldsymbol{t_1 = 2t_1 = 3t_1 = \ldots = nt_1}$, $\boldsymbol{n \in N}$.

Если же оппоненты примут, что коэффициент «пропорциональности» – переменная величина: $\boldsymbol{k_1 = t_1}$, $\boldsymbol{k_2 = t_2}$, $\boldsymbol{k_3 = t_3}$, … , $\boldsymbol{k_n = t_n}$, то это будет противоречить условию «пропорционального изменения количества движения». В действительности непрерывно изменяющееся (в данном случае – растущее) «количество движения $\boldsymbol{mV(t)}$» не может быть «пропорционально» постоянной величине $\boldsymbol{mg = const}$.

Сама ньютоновская формулировка «изменение количества движения...» предполагает непрерывный рост (или наоборот – уменьшение) правой и левой частей динамического уравнения

$$\boldsymbol{mV\left(t_i\right) = kF\left(t_i\right)}, \tag{1.4}$$

которое в рассматриваемом опыте конкретизируется так

$$\boldsymbol{mgt_i = kF\left(t_i\right)}. \tag{1.4а}$$

Все выше сказанное относительно тела, свободно падающего с определенной высоты, полностью и практически дословно подтверждается Ньютоном в его «Поучении» [2, с. 50]. Вот его рассуждение на сей счёт: «При падении тела, ***сила тяжести*** в отдельные ***равные между собою*** весьма малые промежутки времени (см. $\boldsymbol{\Delta t}$ из нашего Рис. 1), действуя одинаково, сообщает этому телу ***равные*** количества движения $(\boldsymbol{mg\Delta t_1 = mg\Delta t_2 = \ \dots \ = mg\Delta t_n})$ и производит ***равные*** скорости $(\boldsymbol{g\Delta t_1 = g\Delta t_2 = \ \dots \ = g\Delta t_n})$ – (см. наш Рис. 1). Следовательно, за все время движения ($\boldsymbol{t_\Sigma = \sum_{i=1}^{n} \Delta t_i = n\Delta t}$ – Л.Ч.) она (сила тяжести) сообщает телу полные количества движения ($\boldsymbol{mgt_\Sigma}$) и скорости ($\boldsymbol{gt_\Sigma}$), пропорциональные времени», т.е. $\boldsymbol{F_\Sigma = n\Delta F \equiv mgn\Delta t = mgt_\Sigma = kt_\Sigma}$, где $\boldsymbol{k = mg}$ [см. (1.4а)].

К цитированному академик А.Н. Крылов дает следующее замечательное для нашего вывода и противное существующему представлению примечание: «… причем за «силу тела» принимается его количество движения», т.е. $\boldsymbol{F_m = mV_\Sigma}$ [см. (1.4 и 1.4а)].

Ошибка аналитического представления второго закона механики заключается в том, что производная от силы по времени $\boldsymbol{m\frac{dV}{dt}}$, которая при $\boldsymbol{\frac{dV}{dt} = const}$ является постоянной, отождествляется с самой силой (первообразной), которая при изменении скорости движения является переменной величиной. Эта ошибка, по всей видимости, обусловлена нечёткой ньютоновской формулировкой второго закона механики: словосочетание «приложенная движущая сила» невольно ассоциируется с неизменяемостью движущей силы. Более точная формулировка «изменение количества движения пропорционально накоплению движущей силы» не допустила бы, возможно, превратного толкования.

На этом месте сделаем небольшой экскурс в философию. Обратимся к одной ***божественной аксиоме*** Иисуса Христа. Эта аксиома была Им озвучена так: «Говорите «да – да», «нет – нет», всё, что между ними, то – от лукавого». Иными словами, Христос учил: «истина есть истина», «ложь есть ложь», или «истина не может быть ложью» и – наоборот.

В устах Евклида эта аксиома математически звучала так: «Всякая величина равна сама себе». Очевидными логическими следствиями из этой аксиомы являются следующие утверждения: «изменение равно изменению», «окончание изменения тождественно самому себе».

А теперь, базируясь на этих следствиях, снова вернёмся ко второму закону Ньютона для любого вида движения. Примем существующее его толкование: «Сила есть изменение количества движения». Тогда получается, что «постоянство есть изменение», что противоречит первому следствию из названной аксиомы. Возвращаясь к философской истине, запишем: «Изменение силы равно изменению количества движения», что в физико-математических символах означает:

$$\frac{dF}{dt} \equiv \frac{dmV}{dt} = m\frac{dV}{dt}.$$

Интегрируя это выражение по времени, получим

$\int \frac{dF}{dt}dt \equiv m\int \frac{dV}{dt}dt$, или $F \equiv mV$ – сила есть масса, умноженная на скорость [см. (1.4)], или «окончание изменения тождественно самому себе».

Если принять, что размерности в правой и левой частях уравнения (1.4а) одинаковые – $\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$ (масса движущегося тела имеет размерность *кг*), то k равняется безразмерной единице. И математическое выражение для равномерно растущей гравитационной силы, действующей на свободно падающее тело, обретает вид

$$F\left(t_i\right) = mgt_i. \tag{1.4б}$$

Следовательно, в общем случае формула для выражения переменной динамической силы, движущей тело постоянной массы, в полном соответствии с вербальным определением Ньютона, должна быть записана так

$$F\left(t\right) = mV\left(t\right) \tag{1.4в}$$

и только так. Сам же закон изменения скорости $V\left(t\right)$ по времени может быть куда более сложным, чем при равноускоренном движении, для которого $F(t) = mat$ (1.4г). При постоянной скорости движения тела движущая сила определится формулой

$$F = mV = const. \tag{1.4д}$$

Сопоставим два высказывания Ньютона в отношении любого движения вообще:

1. «***Изменение количества движения*** пропорционально приложенной ***движущей силе*** ...».
2. «***Количество движения*** есть мера такового, устанавливаемая пропорционально ***скорости и массе***».

Вероятно, ни у кого не вызовет возражение то, что под количеством движения Ньютон подразумевал произведение массы на скорость $\boldsymbol{mV}$, которое современные физики чаще называют словом «импульс», что только запутывает суть вопроса. Как показали исследования, физики это делают, чтобы спасти свое понимание второго закона механики.

Если в первом утверждении Ньютон рассматривает переменное количество движения, то во втором он говорит о постоянной или фиксированной величине количества движения $\boldsymbol{mV = const}$. Математически, с учётом слова «пропорционально», это выражается так:

$$\boldsymbol{mV = kmV = const},$$

где $\boldsymbol{k}$ – коэффициент пропорциональности. Но, чтобы выполнялось это равенство в одной системе (скажем – в МКС), $\boldsymbol{k}$ непременно должен быть равен 1. В противном случае равенства не будет. Следовательно, вроде бы получается, что определение 2 – суть словесная тавтология («количество движения есть количество движения»), в которой слово «тождественно» заменено словом «пропорционально» на случай, если размерности в правой и левой частях уравнения не одинаковые. Но было бы наивно так думать, что ньютоновское определение 2 есть тавтология, – такое словесное излишество гений, конечно же, не мог себе позволить.

В определении 1 подразумевается переменная величина количества движения, которая может быть уравнена только с переменной величиной движущей силы, но никак не с постоянной движущей силой. Учитывая, что в первом определении Ньютон функционально связывает «количество движения» с движущей силой, было бы нелогично предположить, что во втором определении «количество движения» связывается с чем-либо, отличным от движущей силы. Следовательно, нет другого варианта, как признать, что в одной системе единиц второе определение математически запишется так $\boldsymbol{mV = F}$, т.е. движущая сила равна массе движимого тела, помноженной на его скорость.

Развивая эту мысль, обратимся опять к первоисточнику [2, с. 23]: «Количество материи (масса) есть мера таковой, устанавливаемая ***пропорционально*** плотности и объёму её».

В своих комментариях к «Началам» их переводчик с латинского, академик А.Н. Крылов, даёт следующее пояснение к цитированному ньютоновскому Определению 1: «Необходимо также иметь в виду, что в то время при установлении меры для какой-либо величины устанавливалась лишь ее пропорциональность другим величинам, от коих эта мера зависит. Тогда не говорили, как теперь «площадь прямоугольника ***равняется*** произведению из его основания на высоту», а говорили (предполагая единицу меры произвольной) «площадь прямоугольника пропорциональна его основанию и высоте»».

Это чрезвычайно существенное замечание А.Н. Крылова, следовательно, относится и к Определению 2 [2, с. 24]: «Количество движения есть мера такового, устанавливаемая пропорционально скорости и массе», т.е. его следует читать так: «Количество движения есть произведение массы на скорость».

Это же замечание А.Н. Крылова в равной мере относится и ко второму закону Ньютона [2, с. 40]: «Изменение количества движения ***пропорционально*** приложенной движущей силе…».

Таким образом, на уровне теоремы доказано, что в наше время Ньютон сформулировал бы второй закон механики так: «Изменение количества движения равно приложенной переменной движущей силе…», или $\boldsymbol{F}(\boldsymbol{t}) = \boldsymbol{mV}(\boldsymbol{t})$.

В таком же, и только в таком аспекте, следует интерпретировать Определение 8 [2, с. 28]: «Движущая величина центростремительной силы есть её мера, ***пропорциональная*** количеству движения, которое ею производится ***в течение данного времени***», т.е. «движущая величина центростремительной силы ***равна*** количеству движения, которое ею производится в течение заданного времени».

В физико-математических символах Определение 8 тогда запишется так: $\boldsymbol{F_{дцс}(t_з) = m\frac{dV}{dt}t_з = mat_з = mV(t_з)}$ [см. (1.4в)].

Во всех этих определениях слово «пропорционально» следует заменять на «равно», когда оперируют одной системой единиц, например, распространенной МКС: расстояние – в метрах (*м*); масса – в килограммах (*кг*); время – в секундах (*с*).

Если же, допустим, масса движимого тела измерена в граммах, а скорость его движения в *м/с*, то между движущей силой и количеством движения будет пропорциональная зависимость с коэффициентом пропорциональности $\boldsymbol{K} = \frac{1}{1000}$.

Если масса тела измерена в килограммах (*кг*), пройденное телом расстояние в километрах (*км*), а время движения в секундах (*с*), то между движущей силой и количеством движения будет пропорциональная зависимость с коэффициентом пропорциональности $\boldsymbol{K} = 1000$.

Если масса движущегося тела измерена в килограммах, пройденное расстояние в метрах, а время движения в минутах, то между движущей силой и количеством движения будет пропорциональная зависимость с коэффициентом пропорциональности $\boldsymbol{K} = \frac{1}{60}$, и так далее – с учётом размерностей всех трёх параметров.

С учётом комментариев к предыдущим определениям расшифровывается и Определение 7 [2, с. 28]: «Ускорительная величина центростремительной силы есть мера, ***пропорциональная*** той ***скорости***, которую она производит ***в течение данного времени***», т.е. здесь Ньютон по существу визуализируемое проявление динамической силы (скорость) отождествил с самой причиной – силой, что, по-видимому, вводило в заблуждение некоторых исследователей. Следовательно, Определение 7 в одной системе размерностей представляется следующей аналитической записью $\boldsymbol{F_{уцс}} = \boldsymbol{at} = \boldsymbol{V(t)}$, где коэффициент пропорциональности фактически равен 1, если скорость зарегистрирована в размерности *м/с*.

Вот какой комментарий по этому вопросу дает А.Н. Крылов, не уловив, однако, всей тонкости рассуждений Ньютона: «Замечательно, что Ньютон, вводя понятие «ускорительная сила», не пользуется понятием об ускорении, а заменяет его скоростью, производимою в продолжение заданного времени. Вообще понятие ускорения, как оно разумеется теперь, в «Началах» не применяется, и под словом «acceleration» – всегда разумеется приращение скорости в течение заданного конечного или бесконечно малого промежутка времени».

А теперь обратимся к пояснению этого вопроса самим Ньютоном [2, с. 29]: «Таким образом ускорительная сила так относится к движущей, как скорость к количеству движения». Эта вербальная формула аналитически, в случае зависимости скорости от времени, запишется так $\frac{F_y}{F_{дв}} = \frac{V(t)}{mV(t)}$, откуда получаем $F_y \cdot m = F_{дв}$ или $F_{дв} = V(t) \cdot m = atm$, что и требовалось доказать.

В этой связи примечательно, что Валлис [2, с. 24] в своём труде «Механика», изданном в 1671 г., т.е. за 15 лет до издания Ньютоном первого варианта его «Начал», за меру «***силы движущегося тела***» принимает величину, пропорциональную весу и скорости этого тела. Не может быть сомнения в том, что Ньютон был хорошо знаком с названной работой и, давая своё определение «движущей силы», не отверг таковое определение Валлиса, а лишь поправил его, заменив вес на массу.

Если «силу» в общепринятом её понимании характеризовать показаниями динамометра или весов, тогда статическая «сила» mg будет тождественна весу тела и иметь размерность *кГ*. В системе единиц МКС *кГ* превращается в $\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2}$, но это в действительности есть размерность усиления, а не силы.

При свободном падении тела с умеренной высоты оно движется до момента соприкосновения с настилом с постоянным ускорением $g = 9{,}8\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$, т.е. движется равно-ускоренно. Такое равноускоренное движение тела обусловлено так называемой «силой гравитации», глубинная природа которой земным физикам до сих пор не ясна. Падающее тело при этом как бы непрерывно аккумулирует, накапливает в себе эту силу, что и отражает формула (1.4б). Разрушительное влияние этой силы на настил, равно как и на падающее тело, будет зависеть от трёх факторов: от массы падающего тела m, от высоты падения, которая функционально связана с t_n [см. формулу (1.3)], от степени твёрдости настила и падающего тела. Естественно, чем больше масса тела, высота его падения, а также его твёрдость и твёрдость настила, тем большее разрушение при ударе получат тело и настил. Первые два фактора в явном виде отражены формулой силы удара. Последний же фактор в формуле (1.4б) не проявлен и потому требует дополнительных комментариев.

Как известно, при равнозамедленном движении тела, имеющего начальную скорость $\boldsymbol{V_н}$, убывание скорости вычисляется по формуле

$$\boldsymbol{V}(\boldsymbol{t}) = \boldsymbol{V_н} - \boldsymbol{a t_{ам}}, \tag{1.5}$$

где $\boldsymbol{a}$ – постоянное амортизационное замедление,

$\boldsymbol{t_{ам}}$ – время амортизации настилом.

Соответственно, убывание движущей это тело силы выразится

$$\boldsymbol{F_п}(\boldsymbol{t}) = \boldsymbol{m}\left(\boldsymbol{V_н} - \boldsymbol{a t_{ам}}\right). \tag{1.6}$$

В нашем случае от момента соприкосновения тела с настилом и до его полной остановки убывание силы $\boldsymbol{F_п}$ будет происходить в соответствии с формулой (1.6), в которой тогда $\boldsymbol{V_н} = \boldsymbol{g t_п}$. Предположим, что чугунная гиря, масса которой равна $\boldsymbol{m} = 3{,}265$ кг падает с высоты 5 м ($\boldsymbol{t_п} = 1\,с$) и ударяется о бетонную плиту. Сила её удара, равная $\boldsymbol{F_п} = 32\,\frac{кг \cdot м}{с}$, практически мгновенно гасится бетонной плитой, т.е. можно считать, что в формуле (1.6) $\boldsymbol{t_{ам}} = 0$.

В результате этого бетон, мгновенно воспринявший целиком всю силу в $32\,\frac{кг \cdot м}{с}$, получает максимальное разрушение. То же происходит с гирей, мгновенно воспринявшей адекватную ответную силу реакции бетона.

Теперь предположим, что в эксперименте изменился только настил – вместо бетонной плиты настилом служит хороший стог сена, в результате чего время $\boldsymbol{t_{ам}}$ погашения силы $\boldsymbol{F_п} = 32\,\frac{кг \cdot м}{с}$ стало $\boldsymbol{t_{ам}} = 1\,с$. Соответственно, закон постепенного восприятия (погашения) силы стогом сена адекватен закону нарастания этой силы в процессе падения гири, т.е. в первую децисекунду сено компенсирует $3{,}2\,\frac{кг \cdot м}{с}$, во вторую децисекунду еще $3{,}2\,\frac{кг \cdot м}{с}$ и т.д. до полной остановки гири. Разумеется, что гиря при этом останется цела так же, как не разобьётся человек, спрыгнувший в высокий стог сена или в глубокий сугроб снега с внушительной высоты.

Следует отметить, что в случае очень эластичных компенсаторов замедление может линейно зависеть от времени $a(t) = \dot{a}t$, но об этом подробнее – несколько позже.

Общеизвестны понятия скорости и ускорения. Скорость есть производная от пути по времени $V(t) = \frac{ds}{dt}$, другими словами – скорость в общем случае есть приращение пути на «исчезающе малом» отрезке времени. В случае равномерного движения скорость характеризует путь, пройденный объектом в единицу времени, каковой может быть секунда, минута, час и т.п. $\left(V = \frac{s}{t}\right)$. Соответственно, ускорение в общем случае есть приращение скорости на «исчезающе малом» отрезке времени $a(t) = \frac{dV}{dt} = \frac{d^2s}{dt^2}$, или $a(t) = \dot{V} = \ddot{s}$.

В случае постоянного ускорения последнее характеризует прирост скорости на протяжении заданной единицы времени $a = \frac{V}{t}$. По аналогии, то, что принято считать силой (произведение массы на ускорение) в действительности есть усиление, т.е. прирост силы на «исчезающе малом» отрезке времени

$$\dot{F}(t) = m\frac{dV}{dt} = m\dot{V} = ma(t). \tag{1.7}$$

В частности, при $a = const$ формула упрощается

$$\dot{F} = m\frac{V}{t} = ma. \tag{1.7a}$$

Формулы (1.7) и (1.7а) характеризуют усиление при условии постоянства массы движущегося объекта.

Парадокс общепринятого аналитического выражения «силы» (1.7) или (1.7а) состоит в том, что будто бы тело, движущееся с постоянной скоростью, не обладает никакой динамической силой. К примеру, речное судно, у которого вышел из строя двигатель и неисправно рулевое управление, свободно движется по течению реки (вместе с течением) с постоянной скоростью. Встретив на своем пути деревянные сваи от старого моста и не в состоянии их обогнуть, судно ударяется в эту преграду в результате чего получает вмятину в корпусе. Но формально, если следовать традиционной физике и соответствующей логике, сила удара судна о преграду равна нулю, так как никаким ускорением судно не обладает. В реальности же сила удара судна о преграду в точности будет определяться формулой (1.4д). Восприятие же этой силы преградой (погашение силы) будет происходить по закону (1.6).

Рассмотрим несколько примеров движения тел как под действием живой (мускульной) силы, так и под действием механической силы.

Пример первый.

Лодка с лодочником покоится на поверхности стоячей воды (озера). Лодочник делает один гребок вёслами. Идеальная сила, движущая лодку, при этом растёт от нулевого значения до величины

$$F_{ид_к} = m_\Sigma V_л = m_\Sigma a_л t_{гр}, \tag{1.8}$$

где m_Σ – суммарная масса лодки и лодочника;

$t_{гр}$ – длительность одного гребка;

$a_л$ – постоянное ускорение лодки в процессе гребка.

Силу сопротивления воды, непрерывно тормозящую лодку, в весьма упрощенном варианте можно также считать линейной функцией времени

$$F_{св} = m_в a_с t, \tag{1.8а}$$

где $a_с = const$ – условное замедление от трения о воду;

$m_в$ – условная масса воды, тормозящая лодку, $a_с < a_л$.

Результирующая движущая сила будет представлять разность (см. Рис.2)

$$F_р = F_{ид} - F_{св} = m_\Sigma a_л t - m_в a_с t, \tag{1.8б}$$

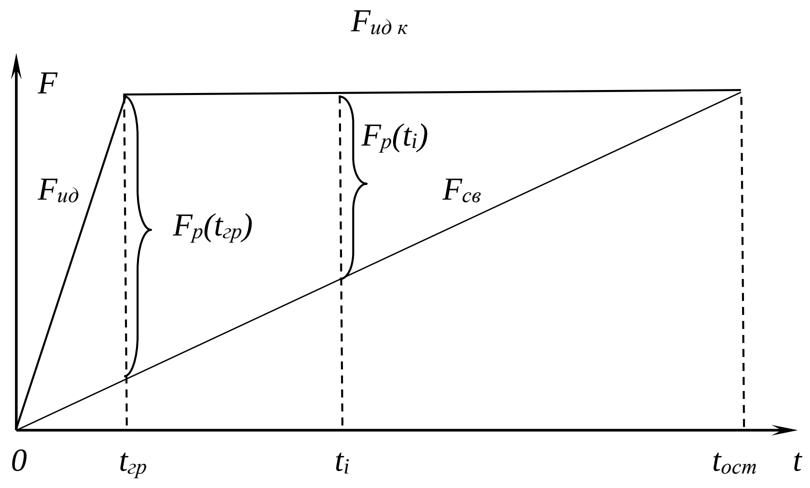


Рис. 2

В течение всего времени $t_{гр}$ происходит рост идеальной движущей силы $F_{ид}$ и, соответственно, рост результирующей. После момента $t_{гр}$ $F_{ид}$ становится постоянной величиной $F_{ид_к}$ и, соответственно, происходит непрерывное уменьшение $F_р$. Если бы вода не тормозила лодку, то она двигалась бы до самого берега с постоянной скоростью $V_{ид} = a_п t_{гр}$. В момент $t_{ост}$ $F_{ид_к}$ становится равной $F_{св}$, т.е. $F_р\left(t_{ост}\right) = 0$, и лодка останавливается. Таким образом, как только «действие» становится равным «противодействию», движение немедленно прекращается.

Следует отметить, что в примере с лодкой, график Рис. 2 и, соответственно, формула (1.8а), дают скорее качественную картину торможения лодки, нежели количественную. Но принципиально это не меняет сути дела. В действительности сила гидродинамического торможения лодки имеет более сложную, нелинейную зависимость от времени. Но ввиду того, что теория гидродинамики далека от безупречного завершения, можно только предположить, что сила гидродинамического торможения на участке разгона растёт пропорционально времени в кубе, например, так

$$F_{св} = \frac{m_в \dddot{x} t^3}{6} = m_в V_c \qquad (1.8в)$$

(см. Рис. 2а), где $V_c = \frac{\dddot{x}_c t^3}{6}$ – условная скорость торможения о воду. Отсюда прослеживается цепочка

$$a_c = \frac{dV_c}{dt} = \frac{\ddot{a}_c t^2}{2} \Rightarrow \dot{a}_c = \frac{da_c}{dt} = \ddot{a}_c \Rightarrow \ddot{a}_c = \frac{d\dot{a}_c}{dt} = const. \qquad (1.8г)$$

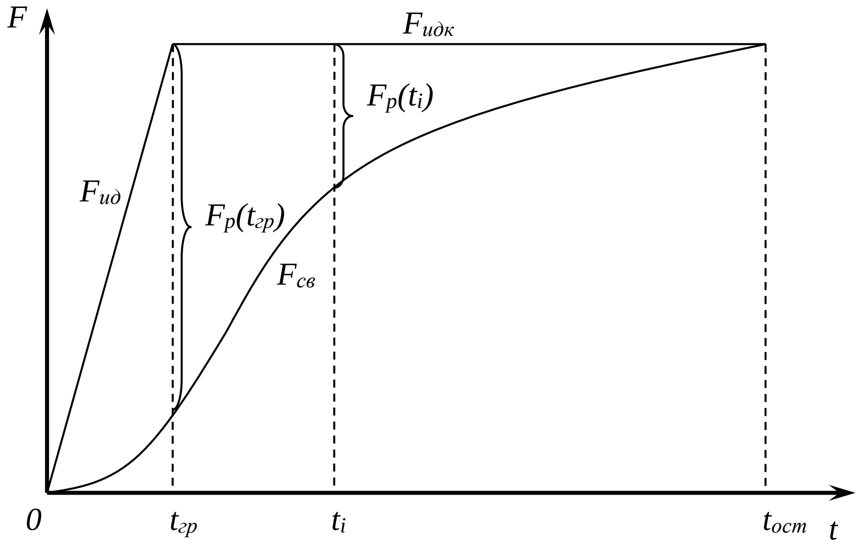


Рис. 2а

На участке же пассивного движения лодки прирост силы сопротивления воды будет заметно уменьшаться в соответствии с уменьшением скорости лодки и будет представлять собой сложную нелинейную зависимость.

Пример второй

Велогонщик стартует с места, набирает максимальную скорость на велотреке, а дальше поддерживает вращением педалей эту максимальную скорость до самого финиша, затем прекращает работать педалями, но не тормозит и потому свободно катится по велотреку до полной остановки велосипеда. В данном случае расклад сил таков. Идеальной движущей силой является мускульная сила ног велогонщика. Это активная сила. Силами сопротивления движению являются сила трения качения и сила аэродинамического торможения. Это пассивные силы. Пассивные силы не могут быть больше активной, иначе не было бы движения. Пассивные силы являются следствием активной.

Резонно предположить, что на участке разгона ускорение линейно зависит от времени разгона $a_{вел} = \dot{a}_{вел} t$, т.е. велогонщик для достижения высоких результатов выкладывается на полную силу. В соответствии с этим, на участке разгона идеальная движущая сила будет представлена формулой:

$$F_{раз} = m_{\Sigma} V_{вел} = m_{\Sigma}\dot{a}_{вел}\frac{t^{2}}{2}, \tag{1.9}$$

где m_{Σ} – суммарная масса велогонщика и велосипеда;

$V_{вел}$ – скорость велосипеда,

$a_{вел} = \dot{a}_{вел} t$ (1.9а) – ускорение велосипеда.

Ускорение велосипеда линейно зависит от времени разгона. Соответственно, $\dot{a}_{вел} = \dfrac{da_{вел}}{dt}$, t – время разгона от $t = 0$ до $t = t_{раз}$ – момент достижения максимальной скорости, $\dot{a}_{вел} = const$.

На участке активного движения с постоянной максимальной скоростью идеальная движущая сила актуализируется формулой:

$$F_{ад} = m_{\Sigma}\dot{a}_{вел}\frac{t_{раз}^{2}}{2} + m_{\Sigma} a_{д} t_{i}, \tag{1.9б}$$

где $a_{д} < a_{вел_{к}} = \dot{a}_{вел} t_{раз}$ и $a_{д} = const$ – ускорение на интервале $t_{раз} - t_{п}$, t_{i} – время движения с постоянной максимальной скоростью от $t_{раз}$ до $t_{п}$ – момент начала пассивного движения (см. Рис. 3).

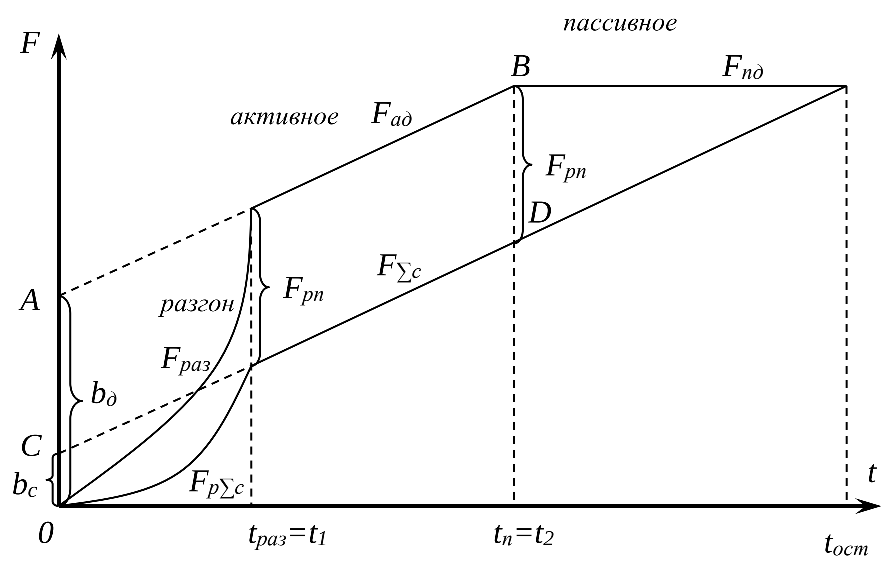


Рис. 3

На пассивном участке движения идеальная движущая сила будет характеризоваться постоянной величиной:

$$\boldsymbol{F_{пд} = m_{\Sigma}\dot{a}_{вел}\frac{t_{раз}^{2}}{2} + m_{\Sigma}a_{д}t_{п} = const}. \qquad (1.9в)$$

Суммарная сила сопротивления движению $\boldsymbol{F_{\Sigma c}}$ очевидно будет формироваться тремя составляющими ее силами: силой трения о покрытие велотрека $\boldsymbol{F_{пс}}$, силой трения в подшипниках колес, а также во вращающихся частях педалей и передающего механизма $\boldsymbol{F_{мс}}$, силой аэродинамического сопротивления $\boldsymbol{F_{ас}}$. Соответственно имеем

$$\boldsymbol{F_{\Sigma c} = F_{пс} + F_{мс} + F_{ас}}. \qquad (1.9г)$$

Теоретические и экспериментальные исследования показывают, что на участке разгона сила суммарного сопротивления движению растёт нелинейно, что удовлетворительно характеризуется формулой

$$\boldsymbol{F_{р\Sigma c} = m_{c}V_{c} = m_{c}\dot{a}_{c}\frac{t^{2}}{2}}, \qquad (1.9д)$$

где $\boldsymbol{m_c}$ – условная масса сопротивления;

$\boldsymbol{V_c}$ – условная скорость торможения;

$\boldsymbol{t}$ изменяется от 0 до $\boldsymbol{t_{раз}}$, $\boldsymbol{\dot{a}_{c} = const}$.

В первом приближении можно допустить, что по окончании участка разгона $\boldsymbol{F_{\Sigma c}}$ растет линейно

$$\boldsymbol{F_{\Sigma c} = m_{c}\dot{a}_{c}\frac{t_{раз}^{2}}{2} + m_{c}a_{ск}t}, \qquad (1.9е)$$

где $\boldsymbol{a_{ск} = \dot{a}_{c}t_{раз} = const}$; $\boldsymbol{t}$ изменяется от $\boldsymbol{t_{раз}}$ до $\boldsymbol{t_{ост}}$.

На участке от $\boldsymbol{t} = 0$ до $\boldsymbol{t_{раз}}$ результирующая движущая сила будет расти в соответствии с формулой

$$\boldsymbol{F_{рр} = F_{раз} - F_{р\Sigma c} = m_{\Sigma}\dot{a}_{вел}\frac{t^{2}}{2} - m_{c}\dot{a}_{c}\frac{t^{2}}{2}}. \qquad (1.9ж)$$

На участке от $t_{раз} = 0$ до $t_п$ результирующая движущая сила будет постоянной величиной

$$F_{рп} = F_{ад} - F_{\Sigma c} = m_{\Sigma}\dot{a}_{вел}\frac{t_{раз}^2}{2} + m_{\Sigma}a_{\partial}t - m_c\dot{a}_c\frac{t_{раз}^2}{2} - m_c a_{ck}t\,, \tag{1.9з}$$

а движение будет происходить с постоянной, максимально возможной для данного велосипедиста скоростью.

Аналитически постоянство результирующей силы на данном участке может быть доказано так. Уравнение прямой AB (см. Рис.3) может быть записано в следующем виде $F_{AB} = kt + b_{\partial}$, где b_{∂} – условная начальная движущая сила, $k = m_{\Sigma}a_{\partial}$ – тангенс угла наклона прямой AB к оси t (1.9б).

Уравнение прямой CD будет $F_{CD} = kt + b_c$, где b_c – условная начальная величина силы сопротивления, $k = m_c a_c$ – тангенс угла наклона прямой CD к оси t [см. (1.9.е)]. А поскольку $AB \parallel CD$, их тангенсы углов наклона равны

$$m_{\Sigma}a_{\partial} = m_c a_c\,. \tag{1.9и}$$

С учетом этого получаем

$$F_{рп} = F_{AB} - F_{CD} = kt + b_{\partial} - \left(kt + b_c\right) = b_{\partial} - b_c = \left(m_{\Sigma}\dot{a}_{вел} - m_c\dot{a}_c\right)\frac{t_{раз}^2}{2}\,. \tag{1.9к}$$

Таким образом, мускульная сила велосипедиста на участке движения с постоянной скоростью (интервал $t_{раз} - t_п$) целиком расходуется на погашение силы торможения на этом участке

$$m_{\Sigma}a_{\partial}t = m_c a_c t\,, \tag{1.9л}$$

а движение происходит благодаря результирующей (1.9к). На участке от $t_п$ до $t_{ост}$ ($t_{ост}$ – момент остановки) результирующая движущая сила будет убывать в соответствии с формулой

$$F_{ру} = F_{пд} - F_{\Sigma c} = m_{\Sigma}\dot{a}_{вел}\frac{t_{раз}^2}{2} + m_{\Sigma}a_{\partial}t_п - m_c\dot{a}_c\frac{t_{раз}^2}{2} - m_c a_{ck}t\,. \tag{1.9м}$$

В момент $\boldsymbol{t_{ocm}}$ две противоположно направленные силы $\boldsymbol{F_{n\partial}}$ и $\boldsymbol{F_{\Sigma c}}$ станут равны по модулю, в результате чего результирующая исчезает $\boldsymbol{F_{py}}\left(\boldsymbol{t_{ocm}}\right)=0$, и велосипед останавливается.

Соответствующий график результирующей силы, которая в чистом виде и осуществляет движение, будет выглядеть так

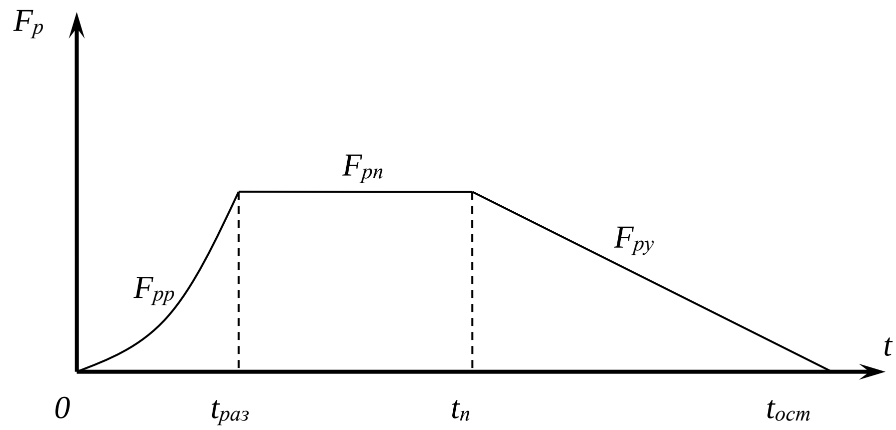


Рис. 4

Пример третий

Проанализируем второй закон Ньютона, на примере разгоняющегося автомобиля, в предположении постоянства его массы, что вполне допустимо, ибо выгорание топлива на небольшом временном интервале пренебрежимо мало. Тогда «изменение количества движения» [2] означает просто увеличение скорости автомобиля. Пусть водитель легкового автомобиля ГАЗ-24 «Волга», двигаясь равномерно на 4-ой передаче со скоростью $\boldsymbol{V}_1 = 80$ км/ч (22,2 м/с), решил увеличить скорость до $\boldsymbol{V}_2 = 120$ км/ч (33,3 м/с), используя максимальную приемистость двигателя, что при условии идеально гладкой, ровной (без спусков и подъёмов) и прямой автомагистрали возможно осуществить за $\boldsymbol{t_{min}} = 14$ с [3]. При названных условиях увеличение скорости достигается только за счёт интенсивного увеличения силы двигателя, толкающей автомобиль, что обеспечивается непрерывным и резким увеличением подачи бензина (перемещением вниз педали газа). Результирующая сила (сила двигателя минус все силы сопротивления) при этом естественно тоже будет непрерывно расти. Таким образом, результирующая сила $F_p(t)$ при разгоне увеличивается нелинейно по времени (как и её следствие – скорость) от величины F_{p1} до F_{p2} в течение $t_{min} = 14\,\text{с}$. Прирост реальной скорости при разгоне (как и в примере с велосипедом) будет квадратичной функцией времени

$$\Delta V_{pp} = \frac{\dot{a}t^2}{2} \Rightarrow V_2 - V_1 = \frac{\dot{a}t_{min}^2}{2} = 33{,}3\,\frac{\text{м}}{\text{с}} - 22{,}2\,\frac{м}{c} = 11{,}1\,\frac{\text{м}}{\text{с}}. \qquad (1.10)$$

Из (1.10) получаем величину $\dot{a}$ – «ускорение ускорения»:

$$\dot{a} = \frac{2(V_2 - V_1)}{t_{min}^2} = \frac{2 \cdot 11{,}1\,\text{м/с}}{196\,\text{с}^2} = 0{,}113\,\frac{\text{м}}{\text{с}^3}. \qquad (1.10а)$$

Составим дифференциальное уравнение

$$\frac{dF_p}{dt} = \dot{F}_p \equiv m\frac{dV_{pp}}{dt} = m\dot{a}t. \qquad (1.10б)$$

Прирост результирующей силы на интервале времени $t = 14\,\text{с}$ определится интегрированием:

$$\Delta F_p = \int_0^{14} \dot{F}_p dt = m\dot{a}\int_0^{14} t\,dt = m\frac{\dot{a}t_{min}^2}{2} = m(V_2 - V_1). \qquad (1.10в)$$

По существу, (1.10в) опять-таки есть частный случай правильного аналитического выражения второго закона механики (1.4в).

По паспортным данным [3] вес гружёного автомобиля ГАЗ-24 составляет $G = 1790\,\text{кГ}$. Масса ГАЗ-24, соответственно, будет $m = 183\,\text{кг}$. Подставив эту величину в (1.10в), получим $\Delta F_p = 2031\,\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$.

Следуя традиционной механике, составим уравнение баланса «сил» (в действительности – усилений) при разгоне автомобиля на идеально гладкой и ровной дороге [3]:

$$\dot{F}_p(t) = \dot{F}_T(t) - \dot{F}_Д(t) - \dot{F}_B(t), \qquad (1.10г)$$

где $\dot{F}_p(t) = m\dot{a}t$ [см. (1.10б)] – результирующая «сила» (усиление), $\dot{F}_T(t)$ – полезная «сила» двигателя (идеальная «сила» двигателя минус «силы» трения во всех вращающихся и трущихся деталях автомобиля), именуемая «силой тяги», $\dot{F}_{Д}(t)$ – непрерывно растущая по мере роста скорости «сила» сопротивления движению со стороны дороги («сила трения качения»), $\dot{F}_{В}(t)$ – непрерывно растущая по мере роста скорости «сила» аэродинамического торможения.

В действительности все эти ***усиления*** в совокупности, по мере течения времени разгона, накапливаются в автомобиле, формируя, тем самым результирующую ***силу***, зримым проявлением чего является реальная скорость автомобиля.

И соответствующее ***действительности уравнение активного баланса сил*** при разгоне автомобиля получается интегрированием (1.10г) по времени

$$\int_{t_1}^{t_2} \dot{F}_{р}(t)\,dt = \int_{t_1}^{t_2} \dot{F}_{Т}(t)\,dt - \int_{t_1}^{t_2} \dot{F}_{Д}(t)\,dt - \int_{t_1}^{t_2} \dot{F}_{В}(t)\,dt \qquad (1.10д)$$

или

$$F_{р}(t) = F_{Т}(t) - F_{Д}(t) - F_{В}(t). \qquad (1.10е)$$

Силы $F_{р}(t)$ и $F_{Т}(t)$ всегда направлены в сторону движения, а силы $F_{Д}(t)$ и $F_{В}(t)$ всегда направлены против движения. То же можно сказать о соответствующих усилениях.

Результирующая сила $F_{р}(t)$ в отличие от $F_{Т}(t)$, $F_{Д}(t)$ и $F_{В}(t)$, не является отдельной самостоятельной по своей природе силой. Само её название свидетельствует о том, что она есть результат алгебраического сложения как минимум трёх самостоятельных сил, порождённых тремя различными компонентами: активной силы $F_{Т}(t)$, имеющей своим источником двигатель, реактивной силы $F_{Д}(t)$, имеющей своим источником дорогу, реактивной силы $F_{В}(t)$, имеющей своим источником окружающий воздух.

При рассмотрении движения автомобиля, как и любого другого дорожного транспорта, следует иметь в виду, что действующая на него «гравитационная сила» по физической сути «распадается» на две противоположные силы: $\vec{F}_{ТД}$ и $\overleftarrow{F}_{ТТ}$. Сила $\vec{F}_{ТД}$ обеспечивает движение (д) автомобиля, поскольку его колеса отталкивают землю, а земля с такой же силой, воздействуя на колеса, толкает автомобиль вперёд. Следовательно, если вернуться к уравнению (1.10е), то $\vec{F}_{ТД}$ есть $\vec{F}_{Т}$ ($\vec{F}_{ТД} \equiv \vec{F}_{Т}$). Гравитационная составляющая $\vec{F}_{ТТ}$ представлена силой торможения трением (тт) в результате трения колес об асфальт («трение качения»). Значит в уравнении (1.10е) $\vec{F}_{ТТ}$ тождественна $\vec{F}_{Д}$ ($\vec{F}_{ТТ} \equiv \vec{F}_{Д}$).

Результирующая сила есть неуравновешенный остаток активной силы, который получается за вычетом сил сопротивления. Именно благодаря тому, что этот остаток не равен нулю, транспортное средство (в частности автомобиль) и движется: с ускорением на участке разгона, ибо результирующая растёт; с постоянной скоростью на участке равномерного движения, ибо результирующая постоянна; с замедлением на участке движения «накатом», ибо результирующая непрерывно уменьшается. Соответствующий график результирующей будет по внешнему виду подобен графику Рис. 4 (пример с велогонщиком).

Уравнения (1.10д) – (1.10е), да и (1.10г), если в них подставить конкретные реальные цифры, всегда будут свидетельствовать не в пользу распространённого, схоластического понимания третьего закона Ньютона: «Действие равно противодействию». Уравнение (1.10д) – (1.10е) свидетельствуют о том, что движение возможно только когда активная, первоначальная движущая сила превышает реактивные силы сопротивления. Автомобиль, как и любой другой дорожный транспорт, трогается с места только когда растущая толкающая его сила превзошла силу трения покоя, и только благодаря этому.

Вообще, пожалуй, самую неудачную, слишком обобщённую, неправомерно универсализированную формулировку Ньютон дает, постулируя третий закон механики [2, с. 41]: «Действию ***всегда есть равное*** и противоположное противодействие, иначе – взаимодействия двух тел друг на друга между собою равны и направлены в противоположные стороны».

Ньютон подкрепляет этот тезис следующими примитивными примерами: «Если кто нажимает пальцем на камень, то и палец его также нажимается камнем.

Если лошадь тащит камень, привязанный к канату, то и, обратно (если можно так выразиться), она с равным усилием оттягивается к камню, ибо натянутый канат своею упругостью производит одинаковое усилие на лошадь в сторону камня и на камень в сторону лошади, и насколько этот канат препятствует движению лошади вперёд, настолько же он побуждает движение вперёд камня».

Принципиальное отличие этих двух примеров состоит в том, что в первом примере визуализируемое (видимое наблюдателем) движение отсутствует, если не считать ничтожной деформации камня от давления на него пальцем и незаметной деформации пальца при давлении на камень.

Во втором же примере Ньютон предполагает движение системы «камень-лошадь» в сторону усилия, создаваемого лошадью.

В первом примере так, как его представляет Ньютон, действие и противодействие действительно равны, т.е. активная сила (давление пальцем) равно пассивной силе (сопротивлению давления со стороны камня), и потому нет визуализируемого движения двух тел. Но дело в том, что в этом примере действию третьего закона Ньютона предшествовала разновидность 1-го его закона [2, с. 39], т.е. рука с пальцем под действием вегетативно-мускульной силы человека на протяжении определённого времени «удерживала равномерное и прямолинейное движение пока и поскольку палец не натолкнулся на камень». А ***физическая суть активной динамической силы***, которой обладает рука до встречи пальца с камнем, выражается произведением массы руки на её скорость. И в этом – самая главная суть динамической силы.

Во втором примере для того, чтобы лошадь, например, равномерно тащила камень посредством каната, она должна предварительно стронуть его с места, т.е. преодолеть сопротивление покоя камня, которое фактически представляет гравитационное притяжение камня Землёй. А для этого, на протяжении какого-то малого промежутка времени, лошадь должна развить тянущую силу, превосходящую силу торможения, и только после этого она для равномерного движения поддерживает тянущую силу, в точности равную силе торможения скольжением камня по дороге. Таким образом, на этапе увеличения скорости тандема «камень-лошадь» третий закон Ньютона не выполняется, т.е. нарушается в пользу активной (тянущей) силы. Названный закон выполняется только по достижении тандемом постоянной скорости, но при этом одновременно выполняется и разновидность первого закона Ньютона.

Вместе с тем, при рассмотрении системы «камень-канат-лошадь», возможны многоразличные ситуации, обусловленные комбинациями многочисленных факторов, как-то:

– весом камня;

– площадью его соприкосновения с дорогой;

– степенью ровности дороги (в смысле спусков и подъемов);

– степенью вязкости или плотности дороги;

– степенью скользкости дороги.

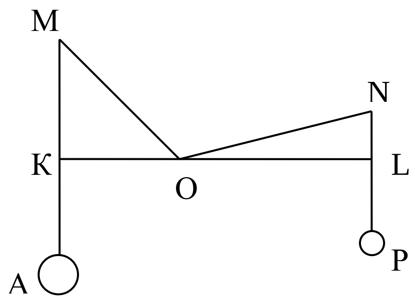
Едва ли возможно в разумных пределах рассмотреть все комбинации перечисленных факторов, если задаваться конкретными их числовыми значениями. Да в этом и нет никакой надобности. Рассмотрим только две крайние ситуации.

Допустим, поставлена задача рассмотреть возможность транспортировки волоком гужевым способом каменного бруса правильной формы, весом в тысячу тонн, наподобие того, который был обнаружен в Баальбекской террасе (Египет).

Надо полагать, что даже по ровной и плотной дороге такой «эльбрусок» не сдвинут с места хотя бы сотня впряжённых в него коней. И тут, хочешь – не хочешь, третий закон Ньютона выполняется. Но выполняется при отсутствии движения. Однако этот закон нарушится на какое-то мгновение в несколько секунд, если в указанный каменный параллелепипед впрячь, предположим, тысячу коней-битюгов. После того как скорость волочения бруса достигнет постоянной величины, третий закон механики, наравне с первым, снова станет выполняться, но уже в режиме движения в сторону активной силы.

Теперь перенесёмся из 17-го века в 21-ый, да простит нам Исаак Ньютон эту вольность. Посредством каната привяжем, допустим, двухпудовую чугунную гирю к заднему бамперу современного внедорожника, имеющего автоматическую коробку передач. Поставим перед высококлассным водителем задачу: в течение 30 секунд от момента старта мчать автомобиль с постоянным ускорением. Задача – вполне выполнимая. И на протяжении этих 30 секунд третий закон механики постоянно не будет выполняться с огромным преобладанием активной силы тяги двигателя над суммарными силами сопротивления.

Примечательно, что на стр. 43 «Начал» Ньютон, как бы осознав излишнюю абсолютизацию сформулированного им третьего закона механики, рассматривает следующую реальную экспериментальную ситуацию: «Пусть к точкам $\boldsymbol{M}$ и $\boldsymbol{N}$ колеса, взятым на радиусах его $\boldsymbol{OM}$ и $\boldsymbol{ON}$ в неодинаковом расстоянии от центра, подвешены на нитях грузы $\boldsymbol{A}$ и $\boldsymbol{P}$ и требуется определить усилия, с которыми эти грузы стремятся вращать колесо».



После ряда элементарных геометрических построений и рассуждений, делается вывод: «… когда веса $\boldsymbol{A}$ и $\boldsymbol{P}$ обратно пропорциональны плечам $\boldsymbol{OK}$ и $\boldsymbol{OL}$, составляющим продолжение одно другого, то их действия ***равносильны***, и они будут находиться в ***равновесии***, это и есть известное свойство весов, рычага и ворота. Когда который-нибудь из двух грузов будет больше, нежели в этом отношении, то их усилие к вращению колеса будет соответственно больше».

Следовательно, аналитически условие равновесия грузов (неподвижности колеса) запишется так

$$\frac{\boldsymbol{A}}{\boldsymbol{P}} = \frac{\boldsymbol{OL}}{\boldsymbol{OK}} \Rightarrow \boldsymbol{A} \cdot \boldsymbol{OK} = \boldsymbol{P} \cdot \boldsymbol{OL},$$

т.е. действие равно противодействию и ***движения нет***.

1. Если $\boldsymbol{A} \cdot \boldsymbol{OK} > \boldsymbol{P} \cdot \boldsymbol{OL}$, то «третий закон» механики нарушен и будет вращение колеса против часовой стрелки.

2. Если $\boldsymbol{A} \cdot \boldsymbol{OK} < \boldsymbol{P} \cdot \boldsymbol{OL}$, то снова «третий закон» механики нарушен и будет вращение колеса по часовой стрелке.

Более того, как в первом, так и во втором случае вращение колеса, а значит, и падение соответствующего груза, будет происходить с ***ускорением***.

Однако в обоих случаях предполагается, что:

– трение колеса во втулке (ось $\boldsymbol{O}$) пренебрежимо мало;

– веса веревок $\boldsymbol{MA}$ и $\boldsymbol{NP}$ пренебрежимо малы по сравнению с грузами $\boldsymbol{A}$ и $\boldsymbol{P}$;

– аэродинамическое сопротивление отсутствует.

Итак, в случае ***динамического противоборства*** активной и пассивной сил определенная постоянная доля действия может стать равной противодействию (пассивной силе) только после того, как установилось ***равномерное движение***. На начальной же стадии движения действие непременно превосходит противодействие. В противном случае не будет никакого наблюдаемого движения. Другими словами – если изначально максимальное действие (максимальная активная сила) равна противодействию (совокупности всех сил сопротивления), то наблюдаемого движения не будет.

Если действие, как было показано на примерах, может превосходить противодействие (силу сопротивления) и даже весьма существенно превосходить на протяжении длительного времени, то противодействие никогда, ни при каких обстоятельствах, не может быть больше действия (активной силы).

Если гиря подвешена к динамометру, ее вес $\boldsymbol{mg}$ $\left(\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2}\right)$ являет собой статическую силу, или ***потенциальную*** динамическую силу, которая станет проявленной (визуализируемой) тотчас после разрезания нити, соединяющей гирю с пружиной динамометра. Эта проявленная движущая сила в первую секунду после разрезания будет равна $\boldsymbol{mg}\cdot 1\text{с}$ $\left(\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}\right)$, во вторую – $2\boldsymbol{mg}$ $\left(\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}\right)$ и т. д. Таким образом, до разрезания нити выполняется третий закон механики: взаимодействуют два тела (пружина и гиря). Пружина через свою упругость представляет противодействие (пассивную силу), гиря через гравитацию представляет активную силу, и по причине их равенства движения нет. После разрезания нити началось движение гири с ускорением под действием силы гравитации, и третий закон механики не выполняется до момента падения гири; противодействие движению при этом практически отсутствует, если не считать пренебрежимо малой силы аэродинамического торможения.

Если две активные силы противодействуют друг другу, то возможен один из двух вариантов:

1. Противодействующие силы равны по абсолютной величине, т.е. третий закон механики выполняется, но движения при этом опять же не будет.

2. Одна из противодействующих сил больше другой по модулю, т.е. третий закон механики не выполняется, и тогда обязательно будет движение в сторону вектора большой силы.

Для иллюстрации противоборства активных сил несложно поставить такой эксперимент: к стоящему на ровной асфальтированной дороге легковому автомобилю подгоняют вплотную, передним бампером к переднему бамперу, точно такой же легковой автомобиль. Водители обеих легковушек одновременно и одинаково плавно давят на педали газа (на 1-ой передаче), дожимают педали до упора, но никакого движения не наблюдается, за исключением буксующего вращения ведущих колес. Затем место одной из «взаимотаранящих» легковушек занимает грузовик, и моментально началось движение в пользу грузовика. В таком варианте два тела действуют друг на друга, с противоположно направленными, но не равными силами, что и обеспечило движение «антитандема». Другими словами, активное «противодействие» грузовика не только полностью подавило «действие» на него легковушки, но и превзошло последнее, чем и обеспечило динамическое превосходство грузовика. Можно выразиться и иначе: активное «противодействие» легковушки было с избытком подавлено «действием» грузовика.

В примере с «таранящими» друг друга автомобилями «действие» по смыслу не отличается от «противодействия» – обе силы являются активными. Если же «противодействие» является сугубо пассивной силой (реакцией на «действие»), то, как уже отмечалось, оно не может по модулю превысить «действие». Как только пассивное «противодействие» по модулю сравнялось с активной динамической силой, происходит остановка объекта-обладателя динамической силы, либо его движение в обратном направлении – отскок, в зависимости от упругости объекта. Иллюстрацией первой картины может служить ситуация, когда, например, автомобиль въехал в непролазную грязь, в сугробы снега, в толстый слой песка. Иную картину мы наблюдаем, когда мяч ударяется о твёрдую преграду, хотя и в этом, и в первом случае активная сила по модулю сравнялась с пассивной. Но мяч, помимо сообщенной ему динамической силы, обладал еще солидным запасом потенциальной «квазиупругой силы», которая и проявилась при ударе о стенку.

Консервативные физики, оберегая свое понимание третьего закона механики, вынуждены полагать, что результирующая «сила» $\vec{\boldsymbol{F}}_{\boldsymbol{р}}$ и «сила» инерции $\vec{\boldsymbol{F}}_{\boldsymbol{ин}}$, во-первых, имеют разную природу, во-вторых, всегда противоположно направлены, в-третьих, равны по абсолютной величине. Однако, если природа результирующей понятна, то относительно «силы инерции» мнения рассортировались следующим образом [4, с. 3]: «Анализ существующих учебников по теоретической механике показывает отсутствие единого мнения по этим вопросам. Например, по вопросу о том, реальны или нереальны силы инерции, мнения распределились (приблизительно) следующим образом: 60% авторов считают, что силы инерции нереальны; 20% считают, что силы инерции реальны; 10% считают, что часть сил инерции реальна, а часть нереальна; 10% авторов вообще обходят этот вопрос».

Встанем на точку зрения 20% ортодоксальных (и тем самым последовательных в своем понимании законов механики) физиков. Согласно их представлениям, «сила инерции» существует только на участках неравномерного движения. Что касается равномерного движения, например – автомобиля по идеально гладкой и ровной автостраде, то уравнение нулевого баланса «сил» по их представлениям, якобы, принимает вид

$$|\vec{\boldsymbol{F}}_{\boldsymbol{Т}}| = |\vec{\boldsymbol{F}}_{\boldsymbol{Д}}| + |\vec{\boldsymbol{F}}_{\boldsymbol{В}}|. \qquad (1.11)$$

В литературном источнике [3] даются формулы этих параметров, применительно к автомобилю:

$$\vec{\boldsymbol{F}}_{\boldsymbol{Д}} = \boldsymbol{f} \cdot \boldsymbol{G}, \qquad (1.11а)$$

где $\boldsymbol{f}$ – коэффициент трения качения,

$\boldsymbol{G}$ – вес автомобиля.

$$\boldsymbol{f} = \boldsymbol{f}_0\left(1+\frac{\boldsymbol{V}^2}{1500}\right), \qquad (1.11б)$$

где $\boldsymbol{f}_0$ – коэффициент сопротивления качению при движении с малой скоростью $\boldsymbol{V} \le 14\,\frac{м}{с}$.

$$\dot{\boldsymbol{F}}_{\boldsymbol{B}} = \boldsymbol{K}_{\boldsymbol{B}}\,\boldsymbol{s}_{\boldsymbol{B}}\,\boldsymbol{V}^2, \quad [3,\ с.\ 105], \qquad (1.11в)$$

где $\boldsymbol{K}_{\boldsymbol{B}}$ – коэффициент сопротивления воздуха;

$\boldsymbol{s}_{\boldsymbol{B}}$ – лобовая площадь автомобиля (миделевое сечение);

$$\boldsymbol{s}_{\boldsymbol{B}} = 0,78\,\boldsymbol{B}_{\boldsymbol{a}}\boldsymbol{H}_{\boldsymbol{a}}, \quad [3,\ с.\ 101], \qquad (1.11г)$$

где $\boldsymbol{B}_{\boldsymbol{a}}$ – наибольшая ширина автомобиля;

$\boldsymbol{H}_{\boldsymbol{a}}$ – наибольшая высота автомобиля.

Проверим, выполняется ли уравнение (1.11) для автомобиля ГАЗ-24 «Волга» при его движении с постоянной скоростью на 4-ой передаче по идеальной автостраде, в диапазоне скоростей от $\boldsymbol{V}_{\boldsymbol{min}} = 11\,\frac{м}{с}$ $\left(39,6\,\frac{км}{ч}\right)$ до максимальной паспортной скорости $\boldsymbol{V}_{\boldsymbol{max}} = 40,3\,\frac{м}{с}$ $\left(145\,\frac{км}{ч}\right)$. Для этого из [3] выпишем все необходимые характеристики ГАЗ-24: $\boldsymbol{G} = 1790\,кГ$ или $\left(\frac{кг \cdot м}{с^2}\right)$ – вес груженого автомобиля; $\boldsymbol{f}_0 = 0,14$; $\boldsymbol{K}_{\boldsymbol{B}} = 0,25\frac{\boldsymbol{кГ}}{\boldsymbol{м}^3}$; $s_B = 2,3\,м^2$.

И наконец – полученная опытным путем «тяговая характеристика» автомобиля при его движении с постоянной скоростью на 4-ой передаче во всём диапазоне скоростей от $\boldsymbol{V}_{\boldsymbol{min}} = 11\,\frac{м}{с}$ до $\boldsymbol{V}_{\boldsymbol{max}} = 40,3\,\frac{м}{с}$ [3, с. 93]:

Таблица 1

$V_{IVp}\ \frac{км}{ч}$	39,6	63,7	88,2	112,3	136,8	145
$V_{IVp}\ \frac{м}{с}$	11	17,7	24,5	31,2	38	40,3
$\dot{F}_T\ \frac{кгм}{с^2}$	2060	2120	2100	1940	1700	1580

В справочном источнике [3, с. 94] подчёркивается: «График тяговой характеристики (полученной на основе таблицы 1 – Л. Ч.) ***соответствует случаю равномерного движения автомобиля***…». Используя приведенные выше характеристики ГАЗ-24, проведём соответствующие расчёты для проверки корректности уравнения (1.11).

Итак, при $\boldsymbol{V_p} = 11\,\dfrac{\text{м}}{\text{с}} = \boldsymbol{const}$:

$$\dot{\boldsymbol{F}}_{\boldsymbol{T}} = 2060\,\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2}; \quad \dot{\boldsymbol{F}}_{\boldsymbol{Д}} = 0{,}14\left(1+\frac{121}{1500}\right)1790 = 270\,\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2};$$

$$\dot{\boldsymbol{F}}_{\boldsymbol{B}} = 0{,}25\cdot 2{,}3\cdot 121 = 70\,\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2};$$

$$\dot{\boldsymbol{F}}_{\boldsymbol{p}} = \dot{\boldsymbol{F}}_{\boldsymbol{T}} - \dot{\boldsymbol{F}}_{\boldsymbol{Д}} - \dot{\boldsymbol{F}}_{\boldsymbol{B}} = 2060 - 270 - 70 = 1720\,\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2}.$$

Уравнение (1.11) не выполняется. Расхождение составляет $\dot{\boldsymbol{F}}_{\boldsymbol{p}} = 1720\,\dfrac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2}$.

$\dot{\boldsymbol{F}}_{\boldsymbol{T}}$ в 6 раз превосходит $|\dot{\boldsymbol{F}}_{\boldsymbol{Д}} + \dot{\boldsymbol{F}}_{\boldsymbol{B}}|$.

При $\boldsymbol{V_p} = 17{,}7\,\dfrac{\text{м}}{\text{с}} = \boldsymbol{const}$:

$$\dot{\boldsymbol{F}}_{\boldsymbol{T}} = 2120\,\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2}; \quad \dot{\boldsymbol{F}}_{\boldsymbol{Д}} = 0{,}14\left(1+\frac{313}{1500}\right)1790 = 303\,\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2};$$

$$\dot{\boldsymbol{F}}_{\boldsymbol{B}} = 0{,}25\cdot 2{,}3\cdot 313 = 180\,\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2};$$

$$\dot{\boldsymbol{F}}_{\boldsymbol{p}} = \dot{\boldsymbol{F}}_{\boldsymbol{T}} - \dot{\boldsymbol{F}}_{\boldsymbol{Д}} - \dot{\boldsymbol{F}}_{\boldsymbol{B}} = 2120 - 303 - 180 = 1637\,\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2}.$$

Уравнение (1.11) не выполняется. Расхождение составляет $\dot{\boldsymbol{F}}_{\boldsymbol{p}} = 1637\,\dfrac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2}$.

$\dot{\boldsymbol{F}}_{\boldsymbol{T}}$ в 4,4 раза превосходит $|\dot{\boldsymbol{F}}_{\boldsymbol{Д}} + \dot{\boldsymbol{F}}_{\boldsymbol{B}}|$.

При $\boldsymbol{V_p} = 24{,}5\,\dfrac{\text{м}}{\text{с}} = \boldsymbol{const}$:

$$\dot{F}_{\text{Т}} = 2100\,\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2}; \qquad \dot{F}_{\text{Д}} = 0{,}14\left(1+\frac{600}{1500}\right)1790 = 351\,\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2};$$

$$\dot{F}_{\text{В}} = 0{,}25\cdot 2{,}3\cdot 600 = 345\,\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2};$$

$$\dot{F}_{\text{р}} = \dot{F}_{\text{Т}} - \dot{F}_{\text{Д}} - \dot{F}_{\text{В}} = 2100 - 351 - 345 = 1404\,\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2}.$$

Уравнение (1.11) не выполняется. Расхождение составляет $\dot{F}_{\text{р}} = 1404\,\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2}$.

$\dot{F}_{\text{Т}}$ в 3 раза превосходит $|\dot{F}_{\text{Д}} + \dot{F}_{\text{В}}|$.

При $\boldsymbol{V_р} = 31{,}2\,\frac{\text{м}}{\text{с}} = \boldsymbol{const}$:

$$\dot{F}_{\text{Т}} = 1940\,\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2}; \qquad \dot{F}_{\text{Д}} = 0{,}14\left(1+\frac{973}{1500}\right)1790 = 413\,\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2};$$

$$\dot{F}_{\text{В}} = 0{,}25\cdot 2{,}3\cdot 973 = 559\,\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2};$$

$$\dot{F}_{\text{р}} = \dot{F}_{\text{Т}} - \dot{F}_{\text{Д}} - \dot{F}_{\text{В}} = 1940 - 413 - 559 = 968\,\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2}.$$

Уравнение (1.11) не выполняется. Расхождение составляет $\dot{F}_{\text{р}} = 968\,\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2}$.

$\dot{F}_{\text{Т}}$ в 2 раза превосходит $|\dot{F}_{\text{Д}} + \dot{F}_{\text{В}}|$.

При $\boldsymbol{V_р} = 38\,\frac{\text{м}}{\text{с}} = \boldsymbol{const}$:

$$\dot{F}_{\text{Т}} = 1700\,\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2}; \qquad \dot{F}_{\text{Д}} = 0{,}14\left(1+\frac{1444}{1500}\right)1790 = 492\,\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2};$$

$$\dot{F}_{\text{В}} = 0{,}25\cdot 2{,}3\cdot 1444 = 830\,\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2};$$

$$\dot{F}_{\text{р}} = \dot{F}_{\text{Т}} - \dot{F}_{\text{Д}} - \dot{F}_{\text{В}} = 1700 - 492 - 830 = 378\,\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2}.$$

Уравнение (1.11) не выполняется. Расхождение составляет $\dot{F}_{\boldsymbol{p}} = 378\,\dfrac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2}$.

$\dot{F}_{\boldsymbol{T}}$ в 1,29 раза превосходит $|\dot{F}_{\boldsymbol{Д}} + \dot{F}_{\boldsymbol{В}}|$.

При $\boldsymbol{V_p} = 40{,}3\,\dfrac{\text{м}}{\text{с}} = \boldsymbol{const}$:

$$\dot{F}_{\boldsymbol{T}} = 1580\,\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2}; \qquad \dot{F}_{\boldsymbol{Д}} = 0{,}14\left(1+\frac{1624}{1500}\right)1790 = 522\,\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2};$$

$$\dot{F}_{\boldsymbol{В}} = 0{,}25\cdot 2{,}3\cdot 1624 = 934\,\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2};$$

$$\dot{F}_{\boldsymbol{p}} = \dot{F}_{\boldsymbol{T}} - \dot{F}_{\boldsymbol{Д}} - \dot{F}_{\boldsymbol{В}} = 1580 - 522 - 934 = 124\,\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2}.$$

Уравнение (1.11) не выполняется. Расхождение составляет $\dot{F}_{\boldsymbol{p}} = 124\,\dfrac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2}$.

$\dot{F}_{\boldsymbol{T}}$ в 1,09 раза превосходит $|\dot{F}_{\boldsymbol{Д}} + \dot{F}_{\boldsymbol{В}}|$.

По результатам этих вычислений построен график Рис. 5, наглядно опровергающий уравнение (1.11).

Каково же реальное уравнение баланса сил для автомобиля?

Автомобиль набирает скорость от $\boldsymbol{V}_1$ до $\boldsymbol{V}_2$ в течение времени $\boldsymbol{\Delta t}$, при этом непрерывно изменяются параметры $\dot{F}_{\boldsymbol{T}}(\boldsymbol{t})$, $\dot{F}_{\boldsymbol{Д}}(\boldsymbol{t})$, $\dot{F}_{\boldsymbol{В}}(\boldsymbol{t})$. По окончании разгона получается следующее уравнение баланса сил общего вида:

$$\boldsymbol{F_p}(\Delta \boldsymbol{t}) = \boldsymbol{m}(\boldsymbol{V}_2 - \boldsymbol{V}_1) = \Delta\dot{F}_{\boldsymbol{p}}\cdot\Delta\boldsymbol{t} = |\dot{F}_{\boldsymbol{p}2} - \dot{F}_{\boldsymbol{p}1}|\,\Delta\boldsymbol{t}, \tag{1.12}$$

Зная $\boldsymbol{m}$, $\boldsymbol{V}_2$, $\boldsymbol{V}_1$, $\dot{F}_{\boldsymbol{p}2}$, $\dot{F}_{\boldsymbol{p}1}$, из (1.12) легко определить $\Delta\boldsymbol{t}$:

$$\Delta\boldsymbol{t} = \frac{(\boldsymbol{V}_2 - \boldsymbol{V}_1)\boldsymbol{m}}{|\dot{F}_{\boldsymbol{p}2} - \dot{F}_{\boldsymbol{p}1}|}. \tag{1.12а}$$

Применительно к автомобилю «Волга» ГАЗ-24 уравнение (1.12а) дает следующий ряд отрезков времени Δt_i (см. результаты предыдущих вычислений и таблицу 1):

$$\Delta t_1 = \frac{\left(11\,\frac{\text{м}}{\text{с}} - 0\right) 183\,\text{кг}}{1720\,\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2}} = 1{,}17\ \text{с};$$

$$\Delta t_2 = \frac{(17{,}7 - 11)183}{1720 - 1637} = 14{,}77\ \text{с};$$

$$\Delta t_3 = \frac{(24{,}5 - 17{,}7)183}{1637 - 1404} = 5{,}34\ \text{с};$$

$$\Delta t_4 = \frac{(31{,}2 - 24{,}5)183}{1404 - 968} = 2{,}81\ \text{с};$$

$$\Delta t_5 = \frac{(38 - 31{,}2)183}{968 - 378} = 2{,}1\ \text{с};$$

$$\Delta t_6 = \frac{(40{,}3 - 38)183}{378 - 124} = 1{,}66\ \text{с};$$

$$t_\Sigma = \sum_{i=1}^{6} \Delta t_i = 28\ \text{с}.$$

Полученная сумма отрезков времени $t_\Sigma = 28\,\text{с}$ означает, что при последовательном переключении передач с 1-ой до 4-ой и максимальном использовании приемистости двигателя, гружёный автомобиль ГАЗ-24, имеющий массу $m = 183\,\text{кг}$, должен достичь максимальной паспортной скорости $V_{max} = 145\,\frac{\text{км}}{\text{ч}}$ за 28 секунд. Если к этому учесть общее время на переключение передач $t_n = 4\,\text{с}$, то получим реальное время $t_{реал} = 32\,\text{с}$ наискорейшего достижения автомобилем максимальной скорости при движении по ровной асфальтовой дороге.

Полученное $t_{реал} = 32\,\text{с}$ хорошо совпало с результатами неоднократных натурных испытаний сравнительно новых автомобилей ГАЗ- 24 на свободной и ровной пригородной автомагистрали. В интернете указано минимальное время набора максимальной скорости автомобилем ГАЗ-24, равное $t_{min} = 34 \div 35\,\text{с}$. Это совпадение натурных экспериментов и интернетных данных с предлагаемой теорией свидетельствует о правильности изложенного понимания законов механики.

Коэффициент пересчёта статической силы в динамическую для ГАЗ-24 будет определяться по формуле:

$$\boldsymbol{K_{ст.дин}} = \frac{\dot{\boldsymbol{F}}_{\boldsymbol{Pi}}}{\dot{\boldsymbol{F}}_{\boldsymbol{Ti}}} = 1 - \frac{\dot{\boldsymbol{F}}_{\boldsymbol{Д}} + \dot{\boldsymbol{F}}_{\boldsymbol{B}}}{\dot{\boldsymbol{F}}_{\boldsymbol{T}}}\,. \qquad (1.13)$$

Расчёт по формуле (1.13) показывает, что названный коэффициент для ГАЗ-24 по мере увеличения скорости будет уменьшаться ввиду роста суммарной силы сопротивления. Эта закономерность ***типична для любого автомобиля*** в процессе его разгона. Для ГАЗ-24 $\boldsymbol{K_{ст.дин}}$ будет варьироваться в интервале:

$$\boldsymbol{K_{ст.дин}} = 0{,}9 \div 0{,}1. \qquad (1.13а)$$

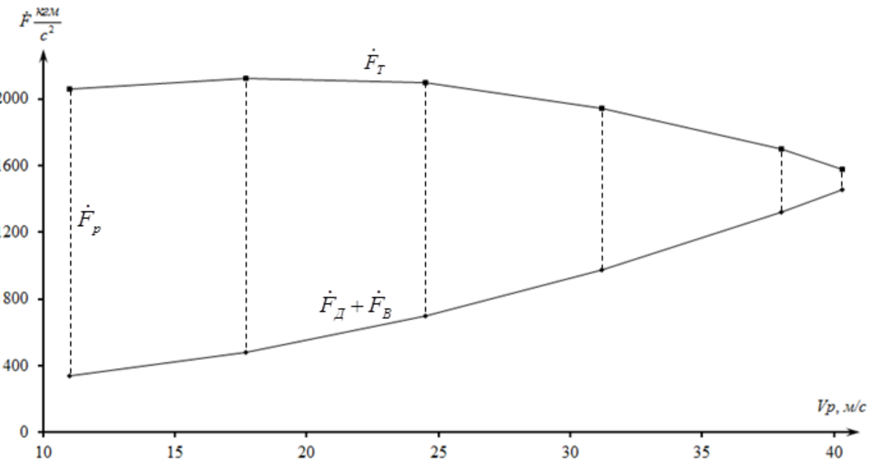


Рис. 5

Какова же причина столь большого расхождения численных результатов, полученных на основе эмпирических данных с догматической теорией? Таких причин может быть несколько. Но главной из них представляется неверная трактовка второго закона механики, а отсюда и понятия динамической силы. Ещё раз подчеркнём: то, что на сегодняшний день квалифицируется как сила, в действительности есть производная от силы по времени – усиление. А оно имеет проявленный, регистрируемый физический смысл только при разгоне или торможении объекта. При движении с постоянной скоростью результирующая движущая сила есть величина постоянная [(см. (1.9к)], следовательно производная от неё равна нулю, что и создает иллюзию законности описания такого движения с помощью уравнения нулевого баланса (1.11). В действительности это уравнение даже при записи $|\Delta \boldsymbol{F_T}| = |\boldsymbol{F_Д}| + |\boldsymbol{F_В}|$ не учитывает силу, накопленную движущимся транспортом при его разгоне, а именно она и является причиной движения [см. (1.10е)]. Что касается силы $\Delta \boldsymbol{F_T}$, которую двигатель добавляет к результирующей на участке постоянной скорости, то она действительно целиком расходуется на то, чтобы полностью погасить все силы торможения: $\Delta \vec{\boldsymbol{F}}_T = \vec{\boldsymbol{F}}_T - \vec{\boldsymbol{F}}_p \equiv \vec{\boldsymbol{F}}_T - \vec{\boldsymbol{F}}_T + \vec{\boldsymbol{F}}_Д + \vec{\boldsymbol{F}}_В = \vec{\boldsymbol{F}}_Д + \vec{\boldsymbol{F}}_В$ (см. также пример с велосипедистом).

Если бы при этом удалось избавиться от последних, то при отключенном двигателе транспорт продолжал бы двигаться с постоянной скоростью «сколь угодно долго» под действием накопленной результирующей, которую в таком случае следовало бы именовать неубывающей силой инерции.

Таким образом, при движении любого транспорта, и вообще при любом движении, неуравновешенная сила (результирующая) всегда выражается «количеством движения» $\boldsymbol{mV}$, которое легко вычисляется, если измерить $\boldsymbol{V}$ и известно $\boldsymbol{m}$. Изменение количества движения означает изменение результирующей. Постоянство количества движения означает постоянство результирующей.

Традиционная же трактовка второго закона механики предполагает, что при постоянной скорости движения любого объекта результирующая равна нулю, поэтому эту силу обычно называют «равнодействующей». Вместе с тем, как мы убедились, конкретный пример вычислений этого не подтвердил, хотя вычисления выполнялись на основе догматического представления о «силе» и с использованием экспериментальных характеристик.

На уровне аксиомы очевиден факт: чем больше тяга двигателя, тем больше результирующая сила движения и тем больше скорость автомобиля.

Вот, к примеру, что показывают расчёты применительно к ГАЗ-24:

при $\boldsymbol{V_p} = 11\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$ $\quad \boldsymbol{F_p} = \boldsymbol{mV_p} = 183\,\text{кг}\cdot 11\,\frac{\text{м}}{\text{с}} = 2013\,\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$;

при $\boldsymbol{V_p} = 17{,}7\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$ $\quad \boldsymbol{F_p} = \boldsymbol{mV_p} = 183\,\text{кг}\cdot 17{,}7\,\frac{\text{м}}{\text{с}} = 3239\,\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$;

при $\boldsymbol{V_p} = 24{,}5\,\frac{\text{м}}{\text{с}}$ $\quad \boldsymbol{F_p} = \boldsymbol{mV_p} = 183\,\text{кг}\cdot 24{,}5\,\frac{\text{м}}{\text{с}} = 4483{,}5\,\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$;

при $\boldsymbol{V_p} = 31{,}2\,\dfrac{\text{м}}{\text{с}}$ $\quad \boldsymbol{F_p} = \boldsymbol{mV_p} = 183\,\text{кг}\cdot 31{,}2\,\dfrac{\text{м}}{\text{с}} = 5709{,}6\,\dfrac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$;

при $\boldsymbol{V_p} = 38\,\dfrac{\text{м}}{\text{с}}$ $\quad \boldsymbol{F_p} = \boldsymbol{mV_p} = 183\,\text{кг}\cdot 38\,\dfrac{\text{м}}{\text{с}} = 6954\,\dfrac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$;

при $\boldsymbol{V_p} = 40{,}3\,\dfrac{\text{м}}{\text{с}}$ $\quad \boldsymbol{F_p} = \boldsymbol{mV_p} = 183\,\text{кг}\cdot 40{,}3\,\dfrac{\text{м}}{\text{с}} = 7375\,\dfrac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$.

На основании этих расчётов построен график Рис. 6 результирующей силы в функции от скорости движения ГАЗ-24 «Волга» на участках равномерного движения, т.е. при $\boldsymbol{V_p} = \boldsymbol{const}$.

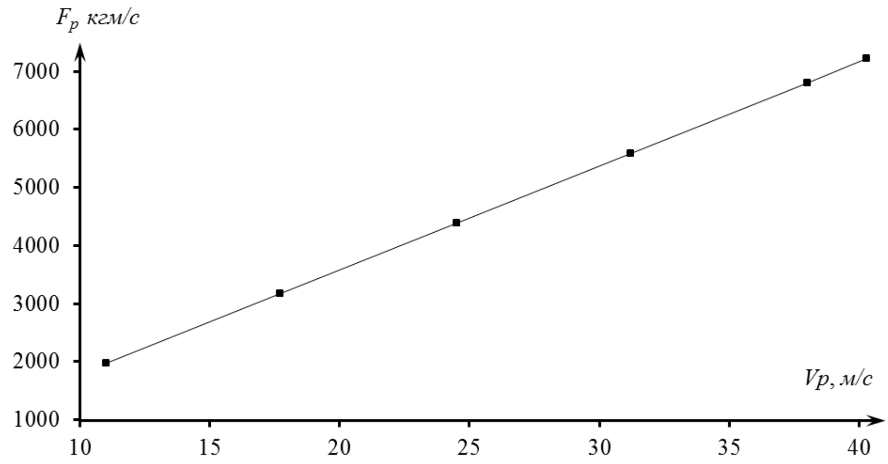


Рис. 6

1.2. Сила инерции и равномерное прямолинейное движение тел

Возвратимся к вопросу о «силе инерции», который не решили для себя 80% специалистов. Частично пояснения по этому вопросу уже были даны. Продолжим их на конкретном примере до предельной ясности. Водитель автомобиля ГАЗ-24 «Волга», двигаясь на 4-ой передаче по гладкой, горизонтальной автомагистрали с постоянной скоростью $\boldsymbol{V_p} = 14\,\frac{\text{м}}{\text{с}}\left(50\,\frac{\text{км}}{\text{ч}}\right)$, по сигналу внешнего участника эксперимента поставил рычаг переключения передач в нейтральное положение, т.е. отключил двигатель от ходовой части автомобиля. Опыт показывает [3, с. 143], что «путь выбега» автомобиля составит $650\,\text{м}$, т.е. автомобиль будет продолжать инерционно катиться до полной остановки на протяжении 650 метров. При этом на автомобиль действует одна ***постоянная*** движущая сила $\boldsymbol{F_{пд}}$ и ей противодействуют непрерывно растущие силы торможения $\boldsymbol{F_{\Sigma c}}$, которые в первом приближении можно считать линейной функцией времени [см. (1.9м) и график Рис. 3].

Результирующая сила будет представлять разность $\boldsymbol{F_{ру}} = \boldsymbol{F_{пд}} - \boldsymbol{F_{\Sigma c}}$. По завершении пути в $650\,\text{м}$ $\boldsymbol{F_{\Sigma c}}$ станет равна по модулю $\boldsymbol{F_{пд}}$ и автомобиль остановится. Коль скоро автомобиль продолжал движение на протяжении $650\,\text{м}$, несмотря на то, что двигатель не оказывал на него толкающего воздействия, да к тому же непрерывно растущие пассивные силы оказывали на него совокупное тормозящее воздействие, значит:

1) масса автомобиля аккумулировала от двигателя (запасла в себе в процессе активного движения) движущую силу, именуемую при отключённом двигателе «силой инерции»;

2) сила инерции движущегося объекта ни в коем случае не является силой сопротивления движению, напротив – её внешнее проявление как раз и выражается в движении, поэтому её недопустимо вычитать из результирующей;

3) сила инерции движущегося объекта всегда направлена в сторону движения и численно равна результирующей силе;

4) если бы водителю каким-то чудом удалось одновременно с отключением двигателя от ходовой части автомобиля отключить силы

сопротивления движению, то автомобиль продолжал бы двигаться «сколь угодно долго» с постоянной скоростью $\boldsymbol{V_p}$, которую он имел в момент отключения двигателя.

Именно подобную ситуацию, т.е. полное отсутствие сил сопротивления при наличии неизменяемой силы инерции и предполагает вторая позиция первого закона Ньютона [2]: «Всякое тело сохраняет (1) состояние покоя или (2) ***равномерного***, прямолинейного движения, пока и поскольку оно не понуждается изменить это состояние под действием приложенной к нему силы».

При этих идеальных условиях, если тело находится в (1) состоянии, то его сила инерции равна нулю, а потому нет видимого движения тела. Если же тело «сохраняет» (2) состояние, то оно обладает не нулевой силой инерции, благодаря которой и имеет место ***равномерное***, прямолинейное движение. Сила инерции в данном случае является полной динамической характеристикой тела $\boldsymbol{F_{ин} = mV = const}$, сила есть, но нет никакого ускорения.

Следовательно, сила внутренне присуща материи, неотделима от неё, и силы передаются от одних тел (субстанций) другим телам (субстанциям). Рассмотрим игру в бильярд. Человек передал порцию своей силы кию, кий передал её шару, шар частично передал её столу и воздуху, а частично – другому шару и т.д. – безначальные и бесконечные цепочки причинно-следственных связей. На это может последовать упрёк в нелогичности: «Но ведь шар до удара кием находился в состоянии (1) покоя, где же тут присущая ему сила? А коль скоро её нет, материя далеко не всегда обладает силой, а сила не есть непременный атрибут материи». Ответим: «Покоящийся шар вместе с Землёй, на которой он покоится, вращается вокруг Солнца со скоростью $\boldsymbol{V_З} = 30\,\text{км/с}$ (не считая скорости осевого вращения Земли на данной широте). Солнце, в свою очередь, вместе с Землёй и шаром вращается вокруг центра Галактики со скоростью $\boldsymbol{V_C} \approx 250\,\frac{\text{км}}{\text{с}}$. Галактика перемещается в пространстве, если верить оценкам астрономов, со скоростью $\boldsymbol{V_Г} = 300\,\frac{\text{км}}{\text{с}}$. Итого: произведение массы шара на суммарную скорость его перемещения в Пространстве даёт интегральную «силу инерции», которой обладает «покоящийся» шар». И это – не принимая во внимание его «статическую силу», которой он обладает благодаря гравитации и с которой давит на поверхность стола. Но о «статической силе» детальный разговор – впереди.

Ньютон, хотя и говорил о возможном состоянии (1) покоя, очевидно, понимал, что «абсолютного покоя» в Природе не существует, а посему любое тело всегда обладает той или иной «силой инерции», которую он также именовал метким термином «врожденная сила материи». Вот его высказывания на сей счет [2]: «Врождённая сила материи есть присущая ей способность сопротивления, по которой всякое отдельно взятое тело, поскольку оно предоставлено самому себе (ни с чем не взаимодействует – Л. Ч.), удерживает свое состояние (1) покоя (относительного – Л. Ч.) или (2) равномерного, прямолинейного движения. Эта сила всегда пропорциональна массе, и если отличается от инерции массы (?), то разве только воззрением на неё (?). От инерции материи происходит, что всякое тело лишь с трудом выводится из своего покоя или движения. Поэтому «врождённая сила» могла бы быть весьма вразумительно названа «силой инерции». Эта сила проявляется телом единственно лишь, когда другая сила, к нему приложенная, производит изменение в его состоянии».

Последняя фраза неточна. Если тело находится в состоянии (1) относительного покоя, то «сила инерции» визуально не проявляется лишь потому, что наблюдатель находится в той же «инерциальной системе координат», а не потому, что тело не обладает «силой инерции», ведь последнюю фразу Ньютона можно истолковать и так. Если же тело находится в состоянии (2) равномерного движения относительно наблюдателя, то последняя составляющая общей «силы инерции» как раз и проявляется в этом движении, что визуально фиксирует наблюдатель. «Приложенная сила» лишь увеличивает или, напротив – уменьшает исходную «силу инерции». И уж совсем непонятно противопоставление материи и массы. «Инерция материи» и «инерция массы» суть одно и то же.

Цитируем дальше [2]:

«Приложенная сила есть действие, производимое над телом, чтобы изменить его (1) состояние покоя или (2) равномерного, прямолинейного движения (это верно, но не всегда – Л. Ч.). Сила проявляется единственно только в действии и по прекращении действия в теле не остается» (А это – всегда неверно – Л. Ч.).

На участке разгона автомобиля к нему приложена нелинейно растущая движущая сила, обеспечивающая рост результирующей, что приводит к непрерывному изменению динамического состояния автомобиля. Здесь Ньютон прав. На участке же равномерного движения приложенная движущая сила обеспечивает лишь постоянство результирующей и потому, вопреки утверждению Ньютона, никакого изменения в динамическом состоянии автомобиля приложенная движущая сила не создаёт – «действие» есть, а «изменения» нет.

Физики конкретизировали отмеченную оплошность Ньютона и тем самым довели ее до откровенного заблуждения [5, с. 80]: «…тело неизменной массы под действием постоянной силы движется с постоянным ускорением, т.е. равномерно-ускоренно». Заблуждение более чем очевидно: водитель держит ногу на педали газа в строго фиксированном положении, что обеспечивает постоянный расход топлива, а значит, и постоянную «тягу двигателя», что при идеально ровной дороге создает движение автомобиля с постоянной скоростью, т.е. ускорение равно нулю.

Далее, когда рычаг переключения передач поставлен в нейтральное положение, то «прилагаемая сила» от автомобиля отключена (действие прекращено), а автомобиль тем не менее продолжает еще долго катиться, преодолевая сопротивление. И это только благодаря тому, что (опять-таки вопреки утверждению Ньютона) прилагавшаяся ранее к автомобилю сила двигателя «осталась в теле» (в автомобиле).

Буквально следующим предложением Ньютон неосознанно разрушает свою предыдущую мысль и подтверждает приведенный пример движения автомобиля накатом: «Тело продолжает затем удерживать свое новое состояние вследствие одной только инерции». Именно так: тело удерживает переданную ему при разгоне силу и тем самым удерживает связанное с этой силой новое состояние (скорость). Однако в реальности другие тела (земля и воздух) непрерывно отбирают у тела накопленную им силу инерции до тех пор, пока не отберут ее полностью.

Все огрехи, допущенные Ньютоном, обусловлены тем, что он не располагал необходимым арсеналом натурных экспериментов на тепловых и электрических механизмах, которые есть у нас. Поэтому его теоретические оплошности были неизбежны. У гения и творческие несовершенства гениальны, поскольку он черпает из Мира Горнего.

Вместе с тем, казалось бы, что ньютоновские промашки давно должны были бы быть выявлены «столпами науки», хотя бы XX века, опиравшегося на высочайший технический прогресс. Однако этого не случилось. Более того, многие «столпы» в своих заблуждениях отринули или исказили основополагающие истины, открытые Ньютоном, а наиболее ***одержимые*** сподобились своей словесно-аналитической диареей, безмассовыми частицами, искривлением пространства-времени и т.п. загнать теоретическую физику в полнейший ступор, во всепоглотившую чёрную дыру.

Эти аки-демики отличаются от истинных творцов науки тем, что их об-манну с не-бес сыпал им бес-стыдный бес. В этой связи Иисус Христос сказал: «Ваши отцы ели манну и умерли, а ядущий мой хлеб не узнает смерти вовек». И еще: «По делам их узнаете их».

Неверное математическое представление силы явилось причиной того, что со времен Ньютона, когда практически единственным источником транспортной силы был живой её генератор, и до наших дней идут нескончаемые споры касательно «силы инерции». И как это ни парадоксально, лишь 20% специалистов в 21 веке безоговорочно признали эту силу. Хотя уже первобытный охотник, бросая каменный топор в зайца, имел апостериорно-интуитивную убеждённость в реальности силы инерции – полёт топора всякий раз демонстрировал ему эту реальность. А современный физик, сидя за рулем роскошного лимузина и мчась накатом со скоростью $100\ \text{км/ч}$ по ровной, атласной автомагистрали, усомнился в реальности силы, которая его тем временем стремительно перемещает в пространстве. Если бы такое приключилось с одним учёным, вразумительное объяснение можно было бы найти: человек много работал умственно переутомился… А тут – 80% специалистов!

Разгадка заключается в том, что не только второй закон механики не согласуется с формулой $\boldsymbol{F} = \boldsymbol{ma}$, но и первый закон механики Ньютона даёт совершенно чёткую, одновариантную интерпретацию силы инерции $\boldsymbol{F_{ин}} = \boldsymbol{mV}$, где $\boldsymbol{V} = 0$, если «тело сохраняет состояние покоя»; и $\boldsymbol{V} = \boldsymbol{const}$, если оно сохраняет состояние «равномерного, прямолинейного движения». В формулировке Ньютона не только нет намёка на ускорение, но более того – оно даже отвергается при наличии движения, а следовательно, движущей силы. Причиной равномерного, прямолинейного (и не только прямолинейного) движения тела является сила инерции, переданная телу и воспринятая им от кого-то или чего-то. При этом Ньютон подразумевал идеальные условия движения тела: после того как тело «присвоило» силу взаимодействовавшего с ним объекта, на него не действуют никакие другие объекты или среды. Среди 20% физиков, признающих силу инерции, есть и такие, которые соглашаются, что сила инерции определяется формулой $\boldsymbol{F_{ин} = mV}$, но только она.

1.3 Ортодоксы потеснили Ньютона

Вообще среди физиков бытует мнение, что для «силы» не существует единого математического выражения. А это фактически означает не высказанное вслух отвержение второго закона механики, замаскированное нагромождением коэффициентов, терминов, специфических понятий, абстрактных теорий и т.п.

Неспроста второй закон механики в учебниках редко даётся в ньютоновской вербальной форме. Вот несколько примеров фривольных формулировок второго закона механики:

1) [3, с.19]: «…изменение количества движения равно импульсу сил, действующих на систему» /под «импульсом сил» при этом подразумевается $\Delta t \sum F_i$ – Л.Ч./

2) [7, с.38]: «Второй закон Ньютона утверждает, что скорость изменения импульса частицы равна действующей на частицу силе F: $\frac{dP}{dt} = F$»

3) [8, с.10]: «Ускорение, сообщаемое свободной материальной точке приложенной к ней силой, имеет направление силы и по модулю пропорционально силе: $F = ma$»

4) [9, с.16]: «… первая производная по времени от вектора количества движения материальной точки по величине и направлению равна вектору силы, действующей на эту точку…» $\frac{d}{dt}(m\vec{V}) = \vec{F}$.

5) [10, с.44]: «… ускорение, приобретаемое материальной точкой в инерциальной системе отсчёта, прямо пропорционально действующей на точку силе, обратно пропорциональна массе точки и по направлению совпадает с силой…» $\boldsymbol{a} = \dfrac{\boldsymbol{F}}{\boldsymbol{m}}$.

6) [5, с.80]: «Сила, действующая на тело, равна произведению массы тела на его ускорение. Второй закон Ньютона можно выразить в несколько иной форме: ускорение, с которым движется тело, прямо пропорционально действующей на него силе и обратно пропорционально его массе, или в виде $\boldsymbol{a} = \dfrac{\boldsymbol{f}}{\boldsymbol{m}}$… Из формулы $\boldsymbol{a} = \dfrac{\boldsymbol{f}}{\boldsymbol{m}}$ следует, что тело неизменной массы под действием постоянной силы движется с постоянным ускорением, т.е. равномерно-ускоренно».

Последнее утверждение зримо и приборно-фиксируемо «с точностью наоборот» «соответствует» тому, что ежедневно и по многу раз в день демонстрируют многие миллионы людей: вагоновожатые, машинисты электричек, электровозов и тепловозов, водители троллейбусов и автобусов, капитаны речных и морских судов, всевозможные автолюбители, мотоциклисты, велосипедисты и т.п.

С другой стороны, то, что традиционно именуется «силой тяги» любого двигателя, в действительности, как было показано, есть прирост, или прибавление силы к движущемуся объекту «на исчезающе малом» интервале времени. Но «исчезающе малый отрезок времени» есть математическая абстракция – уход от континуальности к дискретности времени. Более того, едва ли кто может ответить на вопросы: «Как замерять ускорение снаряда при его движении в стволе орудия?» «Меняется ли это ускорение или оно постоянно?» «Если меняется, то каков закон его изменения?» Отсутствие ответов на эти вопросы объясняется невозможностью экспериментальной проверки движения снаряда в стволе орудия. Поэтому принято считать, что это неизвестное ускорение постоянно, а на основе баллистических расчетов называют лишь ориентировочную начальную скорость вылета снаряда из ствола. Точно так же теоретически понятно, что при разгоне автомобиля, электропоезда или любого другого транспорта ускорение, а следовательно и усиление, растёт, но закон этого роста (в особенности в случае электрических или тепловых двигателей) установить экспериментально весьма сложно. Поэтому исключительно логическим путём здесь была принята простейшая параболическая зависимость (1.9) этого роста. Зная начальную и конечную скорость, а также время разгона, в таком случае уже можно вычислить «ускорение ускорения» $\dot{a}$ [см. (1.10а)], а значит и прирост усиления: «усиление усиления». И в таком случае уже можно говорить, что каждую секунду усиление увеличивается на величину $\boldsymbol{m\dot{a}}\cdot 1\boldsymbol{c}$. Соответственно, сила, которая движет транспорт, прирастает в первую секунду на величину $\boldsymbol{m\dot{a}}\cdot\frac{1}{2}\,\text{c}^2$, во вторую секунду на величину $\boldsymbol{m\dot{a}}\cdot(2-\frac{1}{2})\,\text{c}^2$, в третью секунду на величину $\boldsymbol{m\dot{a}}\cdot\left(\frac{9-4}{2}\right)\text{c}^2\ldots$ в $\boldsymbol{n}$-ую секунду на величину $\boldsymbol{m\dot{a}}\cdot\frac{(\boldsymbol{n}^2-(\boldsymbol{n}-1)^2)}{2}\,\text{c}^2 = \boldsymbol{m\dot{a}}\cdot\frac{2\boldsymbol{n}-1}{2}\,\text{c}^2$.

На участке же равномерного движения двигатель каждую секунду прибавляет к транспорту постоянную порцию силы $\boldsymbol{\Delta F = ma}\cdot 1\text{c}$, но ровно такую же порцию силы на этом участке у транспорта ежесекундно отбирают источники суммарного торможения. Именно поэтому тело неизменной массы под действием постоянной «силы тяги» движется не «равномерно ускоренно» (как это трактуют классические учебники), а равномерно.

Чтобы названное утверждение классиков соответствовало действительности, нужна самая малость: при постоянной «силе тяги» двигателя убрать все источники торможения транспорта. Но одновременно с нейтрализацией такого источника торможения как дорога, прекратится и движение дорожного транспорта (на льду колёса транспорта будут вращаться в режиме буксовки). Движителю водного транспорта с убиранием воды не от чего будет отталкиваться, а воздушный транспорт с исчезновением воздуха тотчас рухнет на землю с заглохшим мотором.

Мы пока не касаемся ракетных двигателей и ракет, несущих в себе как горючее, так и окислитель, ибо в отношении их нельзя уже пренебрегать уменьшением массы в процессе работы двигателей, даже на малом интервале времени.

Следует отметить, что в реальных условиях наличия сил сопротивления, если даже двигатель «моментально» выведен на стационарный режим максимальной силы тяги, транспортному средству требуется определенное время («время запаздывания»), чтобы приобрести максимальную скорость, которую ему способен сообщить данный двигатель.

Другими словами, транспортное средство «впитывает в себя» движущую силу от данного двигателя не моментально, а в течение «времени запаздывания», после чего оно опять-таки движется с нулевым ускорением. В этом смысле можно говорить о степени инертности транспортного средства. Степень инертности любого тела находится в прямой пропорциональной зависимости от массы тела. А «время запаздывания» определяется степенью инертности тела и мощностью двигателя, о которой речь пойдет дальше. При одной и той же массе транспортного средства, чем мощнее двигатель, тем меньше «время запаздывания». С другой стороны, чем мощнее двигатель, тем больше его масса.

1.4 Этимологическая суть силы

На первый взгляд может показаться несущественным вопрос терминологии: какая разница как «обозвать» физические характеристики $\boldsymbol{ma}$ и $\boldsymbol{mV}$? Но всё дело в том, какой смысл испокон веков человечество вкладывало в понятие «сила», каковы её внешние зримые и осязаемые признаки и проявления. Когда речь идёт о воздействии упавшего с высоты тела на ту поверхность, на которую оно упало, то это воздействие издревле называлось «силой удара». Когда в кулачном бою один из противников повергал наземь другого, то это воздействие с древнейших времён называлось «силой удара». Когда былинный русский силач Кожемяка резким рывком двумя руками разрывал лоскут бычьей кожи, то это происходило только благодаря его силе. Когда другой былинный русский богатырь Илья Муромец боковым размахом двухпудовой палицы сбивал с ног одновременно дюжину врагов, то это «привечание» осуществлялось не иначе как «силой удара». Когда кузнец Вакула расплющивал молотом раскалённый металл, то его воздействие на заготовку и, соответственно, на наковальню, называлось не иначе как «силой удара». Когда осаждавшие крепость воины открывали наглухо запертые ворота крепости посредством удара по воротам, наносимого с разбегу тяжёлым бревном, то это воздействие всегда называлось «силой удара». Можно привести еще массу подобных примеров, а также примеров из области работы современной техники, и во всех этих случаях итогом «воздействия» будет сила, аналитически представляемая формулой $\boldsymbol{mV}$, но не как не $\boldsymbol{ma}$.

В самом деле, один результат получается, если тело падает на землю с первого этажа, и совсем другой, – если оно падает с пятого этажа. В первом случае сила удара его о землю будет $\boldsymbol{mgt}_1 = \boldsymbol{mV}_1$, а во втором $\boldsymbol{mgt}_2 = \boldsymbol{mV}_2$, где $\boldsymbol{mV}_2$? $\boldsymbol{mV}_1$, ибо $\boldsymbol{t}_2$? $\boldsymbol{t}_1$, тогда как ошибочное представление «гравитационной силы» – $\boldsymbol{mg}$, действующей на тело, не зависит от времени падения тела.

Второй пример. Если боксёр, тренируя начинающего ученика, наносит ему лёгкий удар, умышленно выдерживая постоянную скорость движения руки, то сила его удара $\boldsymbol{m_{руки}V = const}$ не будет зависеть от времени движения руки. Другими словами, эта сила будет одна и та же, независимо от расстояния до его ученика. Согласно же существующей теории получается $\boldsymbol{m_{руки}a} = 0$, т.к. $\boldsymbol{a} = 0$, т.е. никакой силы удара в этом случае нет. Тот же боксёр на соревнованиях при ударе противника будет выкидывать руку с максимально возможным усилением, т.е. с предельной «реакцией», и сила его удара будет при этом зависеть от времени движения руки $\boldsymbol{F_{уд}(t) = m_{руки}a_{max}t}$. Следовательно, чем меньше вытянута рука в момент удара (меньше $\boldsymbol{t}$), тем меньше будет сила удара. Максимальная сила удара будет при полностью вытянутой руке и дополнительном броске тела, что даёт заметную прибавку к силе удара (нокаутирующий удар): $\boldsymbol{F_{уд.max} = m_{руки}a_{max}t_{max} + m_T a_T t_T}$, где индекс «$\boldsymbol{T}$» означает тело.

Казалось бы – прописные истины. Но в соответствии с общепринятой формулой $\boldsymbol{m_{руки}a_{max}}$ сила удара боксёра не будет зависеть от расстояния до противника (времени выброса руки). В реальности боксёры испытывают на себе не «прирост силы удара…», а всю силу удара целиком, не «хилую» производную $\boldsymbol{m\frac{dV}{dt}}$, а мощную первообразную $\boldsymbol{mV}$.

Кожемяка, при всей его физической силе, ни за какие коврижки не разорвал бы бычью кожу, имей он знания современного физика-теоретика при полном отсутствии природной интуиции и опыта. Однако он разорвал эту кожу, обладая только необычной физической силой, прирождённой интуицией и опытом, не имея ни малейшего представления о физике.

Интуиция и опыт автоматически подсказали ему: чтобы разорвать лоскут кожи необходимо сначала обеими руками свести концы лоскута вместе, а затем резким рывком развести руки в разные стороны, в результате чего получается, как и в примере с боксёром: $\boldsymbol{F_{разр} = m_{руки} a_{max} t}$, где $\boldsymbol{t}$ – время развода рук до предельного натяжения кожи.

Надо полагать, что кузнец Вакула тоже не был потенциальным нобелевским лауреатом по физике. Но несмотря на это, он твёрдо знал: чтобы «дуже гарно» припечатать металл к наковальне, следует предварительно сделать взмах молотом на полностью вытянутые руки, а затем изо всей мочи устремить молот к наковальне, тогда-то сила удара по наковальне будет самой что ни на есть молодецкой – «пуще не могёт быть». И впрямь: $\boldsymbol{F_{уд.max} = m_{\Sigma}(a_{max} + g)t_{max}}$, где $\boldsymbol{m_{\Sigma}}$ – масса молота + масса рук кузнеца, $\boldsymbol{g}$ – ускорение свободного падения. Если бы предварительный замах молотом был сделан наполовину возможного, то при той же реакции кузнеца время движения молота к наковальне было бы вдвое меньше, и пропорционально уменьшилась бы сила удара. Вместо кузнеца можно представить дровосека, и выводы получим те же самые.

Все подобные примеры проявления сил, известные человечеству издревле, Ньютон, разумеется, знал и мог бы привести в своих «Началах», но не сделал этого, вероятно, по одной простой причине: в то время понятие «ускорения» еще не вошло в обиход физической науки.

Вот что сказано в этой связи в комментариях [2, с.28]: «Замечательно, что Ньютон, вводя понятие «ускорительная сила», не пользуется понятием об ускорении, а заменяет его скоростью, производимою в продолжении заданного времени. Вообще понятие ускорения, как оно разумеется теперь, в «Началах» не применяется, и под словом «acceleration» всегда разумеется приращение скорости в течение заданного конечного или <u>бесконечно малого</u> (?) промежутка времени...

Замечательно также, что <u>нигде Ньютон не говорит, чтобы сила измерялась произведением из массы на ускорение»</u> (!)

С учетом этих комментариев процитирую очевидный, простейший пример взаимодействия мускульной и гравитационной сил, который Ньютон приводит в своем «ПОУЧЕНИИ» [2, с. 50]: «Телу, подброшенному вверх (вертикально), тяжесть сообщает равномерно количества движения («силы»), пропорциональные времени, и уменьшает скорость также пропорционально времени, так что времена подъема до наибольшей высоты пропорциональны той скорости, которая подлежит уничтожению; самые же эти высоты пропорциональны скорости и времени, т.е. пропорциональны квадрату времени».

Эта словесная математическая физика, как видим, изложена Ньютоном замысловато-путано и вступает в ощутимые противоречия с теперешней ее сугубо математической формализацией по причине разного понимания физических терминов тогда и теперь.

Попытаюсь ее «осовременить» и представить в более корректной форме посредством реального эксперимента и соответствующих физико-математических выкладок.

При бросании рукой вверх, строго вертикально, стального шарика массы $\boldsymbol{m}$ с максимально возможным усилием, длящимся в течение $\boldsymbol{t_1}$ = 0,5 с, шарик достиг максимальной высоты (верхней точки подъема) за $\boldsymbol{t_2}$ = 1,5 с от момента бросания. Это – с учетом его аэродинамического торможения при инерциальном подъеме. В безвоздушном пространстве он двигался бы инерционно более 2 секунд.

Баланс сил в точке максимального подъема при этом соответствует уравнению: $\boldsymbol{F_1 = F_2 \rightarrow mat_1 = mgt_2}$, где

$\boldsymbol{F_1 = mat_1 = m\upsilon_1}$ – мускульная сила, действовавшая на шарик в течение $\boldsymbol{t_1}$ = 0,5 с;

$\boldsymbol{F_2 = m \cdot 9{,}8 \cdot t_2 = m\upsilon_2}$ – гравитационная сила, действовавшая на шарик в течение $\boldsymbol{t_1}$ = 1,5 с.

Из уравнения баланса сил находим постоянное ускорение, с которым подбрасывался шарик:

$$a = \frac{9{,}8\dfrac{м}{с^2}\cdot 1{,}5с}{0{,}5с} = 29{,}4\frac{м}{с^2}.$$

Уравнение баланса сил здесь по существу представляет третий закон Ньютона в его упрощенной формулировке: «Действие равно противодействию». Но этот закон в данном случае выполнялся с одной принципиальной оговоркой: противодействие длилось в 3 раза дольше действия, что в конечном счете обусловлено длительным инерционном движением шарика после его отрыва от руки.

Строго теоретически максимальная высота подъема шарика должна быть $\boldsymbol{h} = \frac{\boldsymbol{g t_2^2}}{\mathbf{2}}$ = 11,025 *м*.

При экспериментах высота подъема шарика варьировалась в диапазон h = 10 ÷ 12 *м*.

Если же, как это традиционно принято, полагать, что «сила есть произведение массы на ускорение», то в рассматриваемом примере не выполняется ни закон сохранения «сил», ни упрощенная форма третьего закона Ньютона.

При больших скоростях теоретические расчеты резко отличаются от практики. Если, например, из винтовки выстрелить пулю вертикально вверх, то сила пороховых газов, выталкивающая пулю, вызовет ответный аэродинамический скачок торможения пули, на порядок превосходящий гравитационную силу. Пуля вылетает из винтовки с начальной скоростью примерно $\boldsymbol{\upsilon_0} \approx$ 600 м/с [5, с.116]. Пуля должна была бы в отсутствии воздуха достичь высоты, равной [5, с.116]:

$$\boldsymbol{h} = \frac{\boldsymbol{\upsilon_0^2}}{\boldsymbol{2g}} = \frac{600^2}{2 \cdot 9{,}8} \approx 18370 \text{ м}.$$

В действительности вследствие названного скачка уплотнения пуля достигает высоты, ориентировочно равной $\boldsymbol{h_д}$ = 3000 м, т.е. в 6 раз меньшей.

Таков эффект аэродинамического торможения пули, который в совокупности приводит к тому, что скорость падения пули на землю получается на порядок меньше скорости ее вылета из винтовки, т.е. $\boldsymbol{\upsilon_n} \approx 0{,}1\boldsymbol{\upsilon}_0$. Тогда как выхолощенная, «голая» теория утверждает [5, с. 100]: «...скорость обратного падения тела у земли $\boldsymbol{\upsilon_з}$ равна начальной скорости $\boldsymbol{\upsilon}_0$».

Таким образом, неверная трактовка законов механики Ньютона в сочетании с неучетом определяющих экспериментальных факторов приводит к удесятеренным теоретическим ошибкам, до неузнаваемости искажающим ожидаемые результаты воспроизводимых экспериментов.

Пример из практики автолюбителей. Легковой автомобиль, двигаясь по грунтовой дороге со скоростью 50 км/ч, встречает на своем пути небольшой участок дороги, покрытый толстым слоем песка и, врезавшись в него, останавливается – «противодействие» по модулю сравнялось с «действием». Водитель включает заднюю передачу и с помощью пассажиров задним ходом вызволяет машину из «песчаного плена». Далее он отъезжает назад на почтительное расстояние от песчаной преграды и только затем, переключая передачи с первой до четвёртой, разгоняет машину так, что она встречает песчаный участок на скорости 100 км/ч и преодолевает его. Таким образом, если активная сила $\boldsymbol{F_{а.д.}} = \boldsymbol{m_а} \cdot 13{,}9\,\dfrac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$ не смогла преодолеть сопротивление песчаного слоя, то в два раза большая сила сделала это достаточно просто – сила сопротивления не смогла дорасти до величины движущей силы.

Пример из авиации. Известно, что самолёт отрывается от взлётно-посадочной полосы (ВПП) при наборе определённой скорости, вне зависимости от ускорения при отрыве.

Допустим – скорость отрыва равна 50 м/с (180 км/ч) $\to$ $\to \boldsymbol{V_{от}} = \dfrac{\dot{a}\boldsymbol{t}^2}{2} = 50\,\text{м/с}$. Длина разбега при взлете 1000 м $\to$ $\to \boldsymbol{S} = \dfrac{\dot{a}\boldsymbol{t}^3}{6} = 1000\,\text{м}$. Решая эту систему из двух уравнений, получаем: время разбега составляет $\boldsymbol{t} = 60\,\text{с}$; ускорение ускорения равно $\dot{a} = 0{,}028\,\text{м/с}^3$; ускорение отрыва тогда получается $\boldsymbol{a_{от}} = \dot{a}\boldsymbol{t} = 1{,}67\,\text{м/с}^2$.

Но даже если этот самолёт способен за 10 секунд развить ускорение отрыва $\boldsymbol{a_{от}} = 5\,\text{м/с}^2$, он при этом ускорении не оторвётся от ВПП, т.к. скорость его через 10 секунд будет лишь $\boldsymbol{V} = 25\,\text{м/с}$. С другой стороны, и при ускорении отрыва $\boldsymbol{a_{от}} = 0{,}167\,\text{м/с}^2$, он может за $\boldsymbol{t} = 600\,\text{с}$ достичь скорости $\boldsymbol{V_{от}} = 50\,\text{м/с}$ и взлететь, если позволит длина ВПП, которая в таком случае должна быть не меньше 10 км. Предположим – масса самолёта равна $\boldsymbol{m_с} = 1000\,\text{кг}$. Тогда при $\boldsymbol{a_{от}} = 1{,}67\,\text{м/с}^2$ произведение $\boldsymbol{m_с a_{от}} = 1670\,\dfrac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2}$, а при $\boldsymbol{a_{от}} = 0{,}167\,\text{м/с}^2 \;\to\; \boldsymbol{m_с a_{от}} = 167\,\dfrac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2}$, хотя в том и в другом случае $\boldsymbol{m_с V_{от}} = 50\,000\,\dfrac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}}$. Другими словами, если верить современной физике, расчётная сила , необходимая для отрыва одного и того же самолёта от ВПП, может варьироваться так, что одно её значение на порядок ниже другого. Если бы и в самом деле при наборе высоты истинная сила, движущая самолёт, вдруг снизилась на порядок, самолёт тотчас же свалился бы в штопор и разбился.

Вышеприведенные примеры показывают, что под термином «сила» человечество испокон веков подразумевало то, что перемещает материальные объекты с постоянной или переменной скоростью, деформирует их, растягивает, разрывает, раскалывает, разрушает, разбивает и т.п., а это, как было показано теоретически и практически, есть произведение массы на скорость, но никак не на ускорение.

Более того, специалисты подчас, увлекшись аналитикой, неосознанно письменно утверждают то же самое, не вникая в физическую суть своих выкладок. В противном случае они бы поняли, что попали впросак. Примером может служить уже приводившееся ранее определение [3, с.19]: «…изменение количества движения равно импульсу сил $\left(\boldsymbol{\Delta t}\sum \boldsymbol{F_i}\right)$, действующих на систему», что аналитически для одной действующей силы выглядит так

$$\Delta(\boldsymbol{mV}) = \boldsymbol{m}\,\Delta\boldsymbol{V} = \boldsymbol{m}\,\Delta\boldsymbol{t}\,\frac{\boldsymbol{dV}}{\boldsymbol{dt}}, \tag{1.12б}$$

где $\boldsymbol{dt} = 1\,\text{с}$, $\dfrac{\boldsymbol{dV}}{\boldsymbol{dt}} = \dfrac{\Delta\boldsymbol{V}}{\Delta\boldsymbol{t}}$. Авторы [3] в отношении $(\boldsymbol{\Delta t}\cdot\boldsymbol{F})$ употребили слово «импульс», которое на русском языке означает «кратковременное – $\boldsymbol{\Delta t}$ действие». В действительности это «кратковременное» $\boldsymbol{\Delta t}$ может быть каким угодно.

Так мы уже знаем [3], что при разгоне автомобиля ГАЗ -24 от 80 км/ч до 120 км/ч $\boldsymbol{\Delta t} = 14\cdot\boldsymbol{dt} = 14\,\text{с}$,

$\Delta\boldsymbol{V} = 40\,\dfrac{\text{км}}{\text{ч}} = 11{,}1\,\dfrac{\text{м}}{\text{с}} \;\Rightarrow\; \dfrac{\boldsymbol{dV}}{\boldsymbol{dt}} = \dfrac{11{,}1}{14} = 0{,}7928\,\dfrac{\text{м}}{\text{с}^2}$. Масса ГАЗ-24 равна 183 кг. Подставив эти величины в (1.12б), получим:

$\boldsymbol{m}\,\Delta\boldsymbol{V} = 183\,\text{кг}\cdot 11{,}1\,\dfrac{\text{м}}{\text{с}} = 183\cdot 14\cdot 0{,}7928 = 2031\,\dfrac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2}$ [см. результат, полученный по формуле (1.10в)], т.е. прирост количества движения $\Delta(\boldsymbol{mV})$ означает прирост движущей силы $\boldsymbol{\Delta F}$.

Если же согласиться с определением [5, с. 80]:

«Сила, действующая на тело, равна произведению массы тела на его ускорение», т.е. $\boldsymbol{F} = \boldsymbol{m}\dfrac{\boldsymbol{dV}}{\boldsymbol{dt}}$, то для данного примера получим

$$\Delta\boldsymbol{F} = 183\,\text{кг}\cdot 0,7928\,\frac{\text{м}}{\text{с}^2} = 145\,\frac{\text{кг}\cdot\text{м}}{\text{с}^2}.$$

Так физики-теоретики [5], [8-10], нередко расходятся с физиками-экспериментаторами [3], порой вынуждая последних «в угоду науке» всяческими коэффициентами подправлять показания приборов, закрывая глаза на нестыковку размерностей.

При свободном падении бомбы с высоты 10 км теоретическое время падения будет $\Delta\boldsymbol{t} = 45\cdot 1\,\text{с}$. Как видим, на величину $\Delta\boldsymbol{t}$ самой реальностью не налагаются никакие ограничения, а специалисты в безотчётной рефлексии, дабы спасти ошибочную аналитическую трактовку динамической силы, прилепили «фиговый листок» (импульс) к истинному представлению силы.

Равенство переменных динамических сил можно заменить равенством усилий лишь только тогда, когда $\boldsymbol{m}_1\boldsymbol{a}_1\boldsymbol{t} = \boldsymbol{m}_2\boldsymbol{a}_2\boldsymbol{t} \rightarrow \boldsymbol{m}_1\boldsymbol{a}_1 = \boldsymbol{m}_2\boldsymbol{a}_2$ при равно-ускоренном или равно-замедленном движении. Если это условие выполняется, то существующие теории дают удовлетворительное совпадение с практикой. Если же $\boldsymbol{m}_1\boldsymbol{a}_1\boldsymbol{t}_1 = \boldsymbol{m}_2\boldsymbol{a}_2\boldsymbol{t}_2$, то $\boldsymbol{m}_1\boldsymbol{a}_1 \neq \boldsymbol{m}_2\boldsymbol{a}_2$, и физики с удивлением отмечают, что «закон сохранения сил не всегда выполняется».

В свете всего сказанного возникает потребность сделать следующие заключительные замечания:

1. Сила $\boldsymbol{F}(\boldsymbol{t}) = \boldsymbol{mV}$ является во всех случаях более полной динамической характеристикой, чем усиление $\dot{\boldsymbol{F}} = \boldsymbol{m}\dfrac{\boldsymbol{dV}}{\boldsymbol{dt}}$, поэтому закон сохранения силы выполняется всегда, чего требовать от усиления неправомерно по его физической сути.

2. Если результирующая всех сил, действующих на тело, равна нулю, то тело вследствие этого не приобретает ни ускорения, ни скорости – находится в относительном покое (известный закон статики).

3. Если результирующая всех сил, действующих на тело, не равна нулю и не меняется во времени, то тело благодаря этому имеет постоянную скорость.

4. Если результирующая всех сил, действующих на тело, непрерывно меняется во времени, то тело в результате этого движется с ускорением при росте результирующей или – с замедлением при ее уменьшении.

5. Мерой инерции является не масса, как принято сейчас думать, а неуравновешенная сила – произведение массы на скорость. Масса есть количество вещества (см. ньютоновское Определение 1 [2]). Она же определяет меру инертности тела – время набора полной силы инерции при той или иной мощности двигателя.

6. Скорость есть универсальная характеристика движения макро- и микро-объектов, тел, частиц, материи, субстанции. Масса и скорость – одно без другого не существует. Характеристика движения материи – скорость, не может стать материей, равно как и материя не может превращаться в характеристику своего движения.

Это – самоочевидные философские истины, но о них приходится говорить ещё и ещё раз, поскольку многие последователи и продолжатели Эйнштейна перечеркнули эти незыблемые истины и в своих теориях превращают скорость в материю, материю – в искривленное пространство, пространство – во время, и далее – в обратной последовательности.