

3. Пропорциональность силы и ускорения

4. **Случай веса.** В движении тяжелых тел мы различаем два различных элемента: вес тела и начальные условия его движения. Галилей впервые установил законы свободного падения тела. Он показал, что при таком падении тела наращивания скорости в равные промежутки времени по вертикали остаются постоянными; это значит: ускорение этого движения остается постоянным. Далее, для изучения общего случая движения тела, как угодно брошенного, он руководился понятием о независимости действий. Он усмотрел, что в общем случае движения произвольно брошенного тела должно происходить то же, что и при свободном падении его: ускорение должно оставаться постоянным, т. е. оно не зависит ни от каких обстоятельств, в том числе и от скорости тела в каждый момент. Опыт вполне подтвердил эту интуицию.

С постоянством изменения скорости здесь связывается факт большой важности, заключающийся в том, что и вес тела остается постоянным во всех фактически возможных условиях движения. Можно поэтому смотреть на постоянство ускорения, как на результат непрекращающегося действия постоянной силы „веса“, проявляющегося совершенно одинаково, какова бы ни была скорость движущегося тела.

Полученный результат можно выразить иначе так: при движении тяжелого тела вес определяет в течение каждого промежутка времени Δt изменение скорости Δv по вертикали, пропорциональное Δt и не зависящее от скорости, которую тело имело в начале этого интервала.

5. **Случай постоянных сил.** Когда это установлено, то, естественно, приходит мысль, что и другие силы проявляют себя в этом отношении, как вес. Это справедливо по отношению к тем силам, которые допускают прямое сопоставление с весом, благодаря тому, что они имеют с ним общее основное свойство, именно остаются неизменными в течение движения тела. Точнее, для определенности будем предполагать, что тело представляет собой просто материальную точку P и что на него действует в течение некоторого промежутка времени Δt одна и та же сила, изображаемая вектором F , постоянным по величине и направлению. Аналогия, о которой шла речь, сводится к допущению, что скорость v точки P приобретает в течение интервала Δt наращение (векториальное) Δv , направленное, как и вектор F , а по абсолютному своему значению пропорциональное Δt и не зависящее от состояния движения точки P (от ее скорости в начальный момент этого интервала).

6. Нам остается составить себе представление о коэффициенте пропорциональности, который мы обозначим через h . В случае веса этот коэффициент имеет постоянное значение, которое мы обозначаем через g (II, рубр. 27), какова бы ни было тело, т. е. какова бы ни была материальная точка.

Будет ли иметь место то же самое для произвольной постоянной силы F ? Наиболее элементарные опыты заставляют исключить это предположение, заменяя его другими простыми гипотезами относительно природы коэффициента h .

С этой целью достаточно проанализировать начало движения тела, первоначально находящегося в покое и получившего толчок (от руки или мускульного усилия). Тело получает некоторую скорость; мы предполагаем, конечно, что тело настолько мало, что можно говорить о его скорости, не отличая отдельных его точек. Мускульное усилие, которое определило скорость, очевидно, не представляет собой силы, постоянной по величине и направлению; но мы можем его приближенно считать таковым, если будем считать чрезвычайно малым промежуток времени Δt , в течение которого толчок произошел. Напряжение скорости $h dt$, сообщенной телу, представляет собой не что иное, как наращение Δv , которое мы выше рассматривали. Оно представляется для того же тела тем более значительным, чем энергичнее было мускульное усилие, т. е. чем больше была сила, а при равенстве усилий оно тем менее значительно, чем больше вес тела.

Наиболее простой способ выразить это положение вещей заключается в том, чтобы предположить коэффициент h прямо пропорциональным напряжению силы, обратно пропорциональным весу p тела при одном и том же коэффициенте пропорциональности k (для всякого тела, которое можно уподобить материальной точке).

Дальнейшая индукция приводит к допущению, что во всяком случае, т. е. для какой угодно силы F , постоянной по величине и направлению,

$$h = k \frac{F}{p},$$

где F , как обыкновенно, обозначает абсолютное значение вектора F .

7. Резюмируем: изменение скорости Δv , которое происходит в произвольный промежуток времени Δt под действием постоянной силы F , должно оставаться направленным, как вектор F , и должно быть по абсолютному значению равно $h \Delta t = k \Delta t \frac{F}{p}$, где k не зависит ни от материальной точки, ни от силы, которая к ней приложена.

Если, в частности, предположим, что F есть вес, то абсолютное значение левой части есть не что иное, как $g \Delta t$, а значение правой части равно $k \Delta t \frac{1}{p} \cdot p$; отсюда следует $k = g$, и при произвольной силе мы можем, таким образом, написать, изолируя F :

$$F = \frac{p}{g} \frac{\Delta v}{\Delta t}, \quad (1)$$

после чего никакой неопределенности уже не остается.

Это уравнение в рассматриваемом здесь случае постоянной силы F выражает постоянство среднего ускорения $\frac{p}{g}$ движущегося тела за какой угодно промежуток времени Δt и его пропорциональность силе. Приближая Δt к нулю и обозначая через a мгновенное ускорение движущегося тела, мы получим:

$$F = \frac{p}{g} a. \quad (2)$$

8. **Случай переменных сил.** Таким образом в случае постоянных сил мы перешли к закону, который остается действительным от момента к моменту во все время движения. Это делает вероятной гипотезу, что то же соотношение в каждый момент имеет место также и для *переменной силы*. В соответствии с этим мы примем соотношение (2) за основную зависимость между силой (безразлично какой природы) и движением; мы примем, таким образом, что в каждый момент эта зависимость имеет место на всем протяжении явления. Иными словами, мы допускаем, что *при всяком движении в каждый момент имеет место пропорциональность между силой и ускорением, причем коэффициент пропорциональности $\frac{p}{g}$ не зависит ни от силы, ни от состояния движения материальной точки.*

4. Совместное действие нескольких сил.

9. До сих пор мы рассматривали движение свободной материальной точки, на которую действует только одна сила F , как это имеет, например, место в типичном случае падения тяжелых тел в пустоте. Но гораздо чаще случается, что на одно и то же тело оказывают свое действие одновременно несколько сил; так это, например, имеет место при движении аэростата, на которое имеют влияние его вес, подъемная сила и давление ветра.

Для определенности предположим, что на одну и ту же свободную точку P , вес которой p , одновременно действуют две силы F_1 и F_2 (и только эти две). В силу соотношения (2) мы знаем, что если бы на P действовала только одна сила F_1 или одна сила F_2 , то точка получила бы соответственно ускорение:

$$a_1 = \frac{g}{p} F_1$$

или

$$a_2 = \frac{g}{p} F_2;$$

но принципы, установленные до сих пор, не говорят еще ничего относительно динамического эффекта совместного действия рассматриваемых сил. Мы поставлены вследствие этого в необходимость ввести новый индуктивный принцип; именно, допускается