

Всякая система аксиом должна быть полной и независимой, т. е. отдельные аксиомы не должны, например, быть частным случаем или следовать из других аксиом. Аксиомы классической механики (или ее законы) не являются независимыми. Они не образуют и замкнутой системы, удовлетворяющей условию полноты и другим требованиям, предъявляемым к системам аксиом. Предпринималось немало попыток заменить систему аксиом Ньютона более совершенной системой, но эти попытки не были успешными. Поэтому примем за основу аксиомы Ньютона в современной их форме применительно к простейшей модели тела — материальной точке.

236

Первой аксиомой, или законом классической механики, является закон инерции, который был открыт еще Галилеем: *материальная точка, на которую не действуют силы или действует равновесная система сил, обладает способностью сохранять свое состояние покоя или равномерного и прямолинейного движения относительно инерциальной системы отсчета*. Материальная точка, на которую не действуют силы или действует равновесная система сил, называется *изолированной материальной точкой*.



Рис. 1

Равномерное и прямолинейное движение точки называют движением по инерции. Частным случаем движения по инерции является покой точки, при котором скорость ее равна нулю. Первая аксиома содержит в себе утверждение, что простейшее материальное тело, а следовательно, и любые другие материальные тела обладают свойством инерции, т. е. свойством сохранять свое прямолинейное и равномерное движение относительно инерциальной системы отсчета. Согласно Ньютону, все материальные тела обладают врожденной способностью сопротивляться изменению своего движения по инерции. Это внутреннее свойство всех материальных тел, зависящее только от самих тел и не зависящее от присутствия в пространстве других тел. При движении материальной точки по инерции ее ускорение равно нулю. Ускорение точки, таким образом, является мерой отклонения ее движения от движения по инерции.

Вторая аксиома, или основной закон динамики, принадлежащий Ньютону, устанавливает зависимость ускорения точки относительно инерциальной системы отсчета от действующей на нее силы и массы точки: *ускорение материальной точки относительно инерциальной системы отсчета пропорционально приложенной к точке силе и направлено по этой силе* (рис. 1). Если $\vec{F}$ есть приложенная к точке сила и $\vec{a}$ — ее ускорение относительно инерциальной системы отсчета Охуз, то основной закон можно выразить в форме

$$m\vec{a} = \vec{F}. \quad (1)$$

Положительный коэффициент пропорциональности m , характеризующий инертные свойства материальной точки, называется *инертной массой точки*. Инертная масса в классической механике считается величиной постоянной, зависящей только от самой материальной точки и не зависящей от характеристик ее движения, т. е. скорости и ускорения. Масса также не зависит от природы силы, приложенной к точке. Она одна и та же для сил тяготения, сил упругости, электромагнитных сил, сил трения и других сил.

237

В отличие от инертной массы масса, входящая в закон тяготения Ньютона

$$F = G \frac{mM}{r^2},$$

называется *гравитационной массой*. В этом законе G — постоянная тяготения; m, M — гравитационные массы притягивающихся точек; r — расстояние между ними. Гравитационные массы m и M в этом законе выполняют роль своеобразных зарядов, если сравнивать закон тяготения с законом Кулона для взаимодействия покоящихся электрических зарядов. С большой степенью точности экспериментально установлена эквивалентность инертной и гравитационной масс.

Массу обычно определяют по силе тяготения P и ускорению свободного падения g у поверхности Земли. Согласно (1), в этом случае имеем

$$mg = P; \quad m = P/g. \quad (2)$$

Это определение массы широко используется в механике Ньютона.

Основной закон механики является также критерием, который позволяет устанавливать, какую силу следует считать приложенной к материальной точке. Сила, приложенная к материальной точке, всегда имеет материальный источник в виде других материальных тел, которые действуют на точку путем контакта при непосредственном соприкосновении с ней или на расстоянии через посредство силовых полей. Приложенная к точке сила должна создавать у нее ускорение относительно инерциальной системы отсчета в соответствии с основным законом динамики. Только приложенная сила является причиной ускорения точки в классической механике. Это определяет наблюдателя, с точки зрения которого следует судить в механике Ньютона о взаимодействии тел, определяющих силы. Таким является наблюдатель, находящийся в инерциальной системе отсчета.

Из (1), если сила $\vec{F} = 0$, следует, что ускорение $\vec{a} = 0$, т. е. материальная точка имеет постоянную по модулю и направлению скорость относительно инерциальной системы отсчета. В основном законе содержится часть утверждения аксиомы инерции. Другая часть этой аксиомы о свойстве инерции материальной точки и всех других материальных тел в основном законе динамики не содержится.

Третья аксиома, или закон о равенстве сил действия и противодействия, определяет свойство сил взаимодействия между двумя материальными точками с точки зрения инерциального наблюдателя: *силы взаимодействия двух материальных точек равны по величине и противоположны по направлению* (рис. 2), т. е.

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2 \quad (3)$$

238

независимо от удаления точек друг от друга. Эти силы в классической механике считаются действующими вдоль одной прямой. Если не требовать этого, то и силу Лоренца, возникающую при действии одного электрического заряда на другой, движущийся, заряд, можно считать тоже силой взаимодействия.

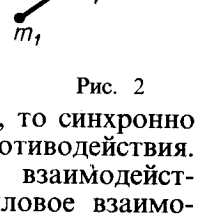


Рис. 2

Если сила действия, например $\vec{F}_1$, изменяется, то синхронно с ней должна, согласно (3), изменяться и сила противодействия. Это возможно для любых расстояний между взаимодействующими точками только при условии, что силовое взаимодействие распространяется мгновенно, т. е. с бесконечно большой скоростью. В действительности же все известные взаимодействия имеют конечные скорости распространения. Для устранения этой трудности взаимодействие на расстоянии целесообразно считать близкодействием, используя концепцию поля. При рассмотрении взаимодействия выделенной материальной точки с каким-либо материальным объектом на расстоянии можно считать, что точка контактно взаимодействует с полем объекта, не рассматривая в механике вопрос о передаче противодействия к источнику поля и его запаздывание из-за конечности скорости передачи.

При рассмотрении взаимодействия материальных точечных объектов с полями часто используются пробные точечные объекты, которые испытывают действие поля, но сами на поле не влияют.

Четвертая аксиома, или закон независимого действия сил (закон суперпозиции сил), не является самостоятельной аксиомой, если принять, что силы, действующие на материальную точку, складываются по правилу параллелограмма. Эта аксиома следует из аксиомы сложения сил. Закон независимого действия сил утверждает: *при одновременном действии на материальную точку нескольких сил ускорение каждой отдельной силы не зависит от наличия других приложенных к точке сил и полное ускорение равно векторной сумме ускорений от действия отдельных сил*. Между силами нет взаимного влияния друг на друга в создании ускорения точки. Если к материальной точке приложена система сил $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$, то, согласно этой аксиоме, ускорение от действия каждой из этих сил определяется по (1):

$$m\vec{a}_1 = \vec{F}_1; \quad m\vec{a}_2 = \vec{F}_2; \quad \dots; \quad m\vec{a}_n = \vec{F}_n. \quad (4)$$

Ускорение при одновременном действии всех сил является векторной суммой ускорений, созданных отдельными силами, т. е.

$$\vec{a} = \sum_{k=1}^n \vec{a}_k. \quad (5)$$

239

Суммируя (4) и используя (5), получаем основное уравнение динамики точки:

$$m\vec{a} = \sum_{k=1}^n \vec{F}_k. \quad (6)$$

Закон независимого действия сил следует понимать как закон суперпозиции сил, т. е. как закон сложения ускорений от действия отдельных сил. Это не означает, что приложенные к точке силы являются независимыми, особенно если среди приложенных сил есть силы реакций связей, которые всегда зависят от активных сил.

Основное уравнение динамики точки остается справедливым и для несвободной материальной точки, на которую наложены связи. Следует только в число приложенных сил включить и силы реакций связей.

Аксиомы классической механики и их следствия хорошо согласуются с результатами опытов для не очень больших скоростей движения по сравнению со скоростью света в пустоте. Для скоростей движения, сравнимых со скоростью света, следует применять механику специальной теории относительности, для которой классическая механика является ее первым приближением при малых скоростях.