

То, что в данном месте все тела испытывают одинаковое ускорение, — характерная особенность тяготения; таким свойством никакие другие силы не обладают. Например, в электрическом поле частицы, имеющие различное отношение заряда к массе, ускоряются по-разному. Известный физический прибор — масс-спектрограф — разделяет частицы именно по этому признаку. Изобретать масс-спектрограф с использованием сил притяжения — дело совершенно бесполезное, поскольку в поле тяготения все частицы, независимо от их прочих свойств, ускоряются совершенно одинаково.

Хотя Ньютону не оставалось ничего лучшего, чем просто описать этот факт, он понимал всеобщность и единство ускорения тяготения. На долю немецкого физика — теоретика Альберта Эйнштейна (1870—1955) выпала честь выяснить принцип, на основе которого можно было объяснить это свойство тяготения, принцип эквивалентности. Эйнштейну также принадлежат основы современного понимания природы пространства и времени.

В начале нашего века венгерский физик Роланд Этвэш (1848—1919) экспериментально проверил справедливость принципа эквивалентности с точностью до 10^{-8} и подтвердил его справедливость*). Совсем недавно Р. Дикке из Принстонского университета повторил опыты Этвэша, увеличив точность эксперимента до 10^{-11} . Опыты Дикке подтвердили вместе с тем основные законы Ньютона с этой же точностью.

2. Относительность движения

До сих пор мы рассматривали скорость и ускорение частиц и молчаливо предполагали, что эти характеристики движения тел не требуют уточнения; считалось, что каждый интуитивно понимает, что они означают. Однако представление о движении или об отсутствии движения, т. е. покое, приобретает четкий смысл лишь тогда, когда установлено соглашение, что движение рассматривается относительно Земли. Пока мы имеем дело с явлениями природы, происходящими на Земле, такая точка зрения вполне

*) Речь идет о том, что отношение инертной m_i и гравитационной m_g масс тела m_i/m_g получается равным единице с точностью до 10^{-11} . (Прим. перев.)

оправдана. Если, например, правила уличного движения ограничивают скорость движения автомашин величиной 60 км/ч, то, вне всякого сомнения, — и милиция, и водители не расходятся в том, что скорость нужно считать относительно дороги, которая в свою очередь жестко связана с поверхностью Земли.

Когда речь идет о самолете, то говорят уже о «скорости самолета в воздухе» (его *крейсерской скорости*) — и скорости относительно Земли — *путевой скорости*, — причем эти скорости оказываются различными (рис. 7). Скорость самолета относительно воздуха — *крейсерская скорость* — это скорость относительно окружающей его массы воздуха: ее величина зависит от мощности двигателей, от формы фюзеляжа и крыльев самолета и других факторов.

Путевая скорость самолета — это скорость самолета относительно поверхности Земли; ее определяют по времени, которое необходимо самолету для того, чтобы пролететь расстояние между двумя аэропортами. Различие между этими скоростями зависит от величины ветра, направленного по движению или против движения самолета. Таким образом, термины *крейсерская скорость* в воздухе и *путевая скорость* указывают на выбранную для описания движения самолета систему отсчета; в первом случае движение рассматривается относительно атмосферы; во втором — относительно Земли.

Во времена средневековья имела широкое хождение точка зрения Птолемея, согласно которой Земля представляет собой естественный центр Вселенной. В связи с этим признать Землю в качестве универсальной *системы отсчета* (т. е. стандартного тела, относительно которого рассматривается любое движение) представлялось вполне оправданным не только в повседневной жизни, но и в естественных науках. Но как только от воззрений Птолемея отказались, вопрос о том, как выбирать систему отсчета, снова оказался открытым. Вместо Земли в качестве «естественной» системы отсчета Коперник выдвинул

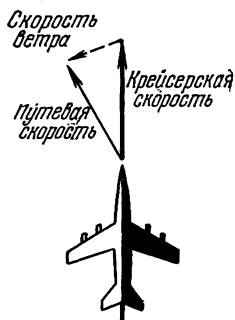


Рис. 7. Скорость самолета относительно воздуха и относительно Земли (*крейсерская и путевая скорости*).

Солнце, и его выбор был очень удачным, когда нужно было описывать движение внутри солнечной системы. Теперь мы знаем, что Солнце представляет собой всего-навсего одну из миллионов известных звезд, расположенных в нашей Галактике. Мало того, наша Галактика является всего лишь одной из бесчисленного числа галактик, наблюдаемых в большой телескоп.

Ньютон хорошо понимал, что в выборе системы отсчета кроется немало осложнений. Все фундаментальные законы механики, установленные Ньютоном, формулируют утверждения, относящиеся к ускорениям, т. е. к изменениям скоростей физических тел, но не к самим скоростям. Эти ускорения связывались с расстояниями между телами, например расстоянием между Землей и Солнцем или расстоянием между Землей и Луной и т. д. Выбор системы отсчета никак не влиял на величину расстояния между телами, но ускорение тел, обусловленное их взаимным притяжением или отталкиванием, следовало подсчитывать относительно универсального стандартного тела, а выбор такого тела очень тесно связан с выбором системы отсчета.

Для тех, кто едет в автомобиле или летит в самолете (причем движение происходит по прямой и с постоянной скоростью), вполне естественно без всякого размышления принять за систему отсчета кузов автомобиля или кабину самолета. И в самом деле, когда самолет летит с крейсерской скоростью в 600 км/ч, пассажиры спокойно ходят по кабине, практически не ощущая такой громадной скорости. Однако на взлете, например, пассажир ощущает силу, прижимающую его к спинке кресла; никому в голову не приходит объяснить этот факт тем, что их «временно» притягивает к себе хвост самолета. Скорее мы услышим, что во время взлета и посадки кабина самолета становится, очевидно, «неподходящей» системой отсчета, по отношению к которой тела испытывают ускорение; это ускорение нельзя приписать влиянию каких-то тел, расположенных в непосредственной близости к самолету. Коротче говоря, только «подходящая» система отсчета позволяет обнаружить «истинное» ускорение.

Остается только указать, какие же системы отсчета следует признать «подходящими». Рассмотрим двух наблюдателей, один из которых жестко связан с Землей, а второй находится в автомобиле, движущемся с постоянной скоростью по прямому пути. Если оба наблюдателя

следят за полетом птицы, они обнаружат, что скорость птицы в каждый данный момент времени для каждого из них будет своя. Это произойдет потому, что каждый из наблюдателей описывает движение птицы, считая самого себя за систему отсчета. Однако у них не возникает расхождений относительно того, как изменяется скорость птицы (и не только в смысле изменения величины скорости, но и ее направления).

Рассмотрим рис. 8. Сначала наблюдатель, стоящий на Земле, находит, что скорость птицы равна v_0 . Через секунду эта скорость станет равной v_1 . Следовательно, этот

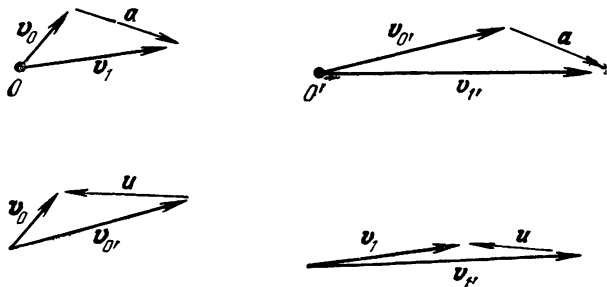


Рис. 8. Ускорение птицы.

наблюдатель будет считать, что ускорение птицы (ускорение тоже вектор!) равно a . Пусть скорость движения наблюдателя в автомобиле относительно Земли равна u . Он обнаруживает, что скорость птицы в соответствующие моменты времени равна v_0' и v_1' ; тем не менее изменение скорости при переходе от v_0' к v_1' по-прежнему равно a , так же как и при переходе от v_0 к v_1 .

Если во все фундаментальные законы природы входят только изменения скорости, как это и предполагал Ньютон, оба наблюдателя располагают вполне достаточными данными, позволяющими установить справедливость законов динамики Ньютона. Но посмотрим теперь, что скажет наблюдатель, находящийся в автомобиле, который движется на повороте дороги. Изменения скорости птицы, которые он обнаружит, будут существенно отличаться от тех изменений, которые нашли два первых наблюдателя. Скорость третьего наблюдателя относительно Земли меняется за секунду от w_0 до w_1 , как это изображено на

рис. 9. Соответственно этому он находит, что ускорение птицы равно a'' , которое отнюдь не равно a . Таким образом, мы приходим к заключению, что, собирая необходимые данные для проверки законов Ньютона, следует считать равноправными только тех наблюдателей, которые движутся друг относительно друга равномерно и прямолинейно.

Остается один вопрос: существует ли среди всех мыслимых наблюдателей тот класс наблюдателей, к которому

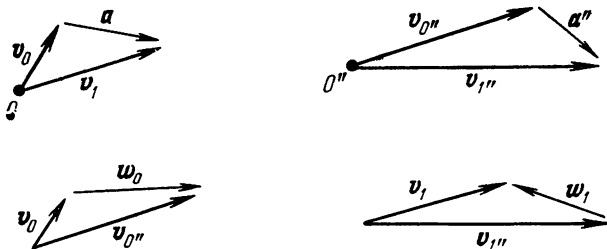


Рис. 9. Наблюдатель, движущийся с ускорением.

следует предпочтительно относить данные, касающиеся динамики различных тел и физических систем. Ньютон ответил на этот вопрос утвердительно. Согласно его первому закону тело, на которое не действуют внешние силы (другими словами, тело, которое не испытывает влияния других тел), не должно испытывать ускорения: нам следует найти такого наблюдателя, для которого это утверждение справедливо. Такого наблюдателя мы назовем *инерциальным* наблюдателем; по отношению к нему движение свободного (т. е. не подверженного действию сил) тела будет происходить без ускорения. Если инерциальный наблюдатель рассматривается в центре сооружения, состоящего из топографических реек или эквивалентных оптических инструментов (типа теодолита), то вся эта комбинация называется *инерциальной системой отсчета* или, короче, *инерциальной системой*. Существование и равноправие бесконечного числа инерциальных систем, находящихся в состоянии равномерного и прямолинейного движения или покоя друг относительно друга,— это основной догмат ньютоновской теории физической Вселенной. Равноправие всех инерциальных систем отсчета

и отсутствие выделенной системы, находящейся в состоянии абсолютного покоя,— эти утверждения известны под общим названием *принцип относительности*. Принцип относительности не подвергался пересмотру на протяжении более 200 лет. За это время физики сжились с мыслью о том, что в мире не существует абсолютного покоя или абсолютного движения, но существует абсолютное ускорение. Что касается абсолютного ускорения всех физических тел, оно определяется силами, возникающими в результате близости других физических тел.

3. Универсальность скорости света

Для того чтобы установить *абсолютный покой* и *абсолютное движение*, следует выделить из всех инерциальных систем отсчета ту единственную систему, которая не просто не имеет ускорения относительно остальных, но обладает еще каким-то иным дополнительным свойством (причем этим свойством не обладают все остальные инерциальные системы), которое делает эту систему *единственной* системой для описания всех процессов во Вселенной. Но оказалось, что во всей Вселенной, построенной Ньютоном, нет никакого способа выделить такую привилегированную систему.

На протяжении девятнадцатого столетия многие выдающиеся физики внесли значительный вклад в учение об электричестве и магнетизме. Среди них следует отметить голландца Ганса Эрстеда (1777—1851), двух выдающихся английских физиков — Михаила Фарадея (1791—1867) и Джемса Клерка Максвелла (1831—1879), наконец, немецкого физика Генриха Герца (1857—1894). В частности, Максвелл уже понимал, что электромагнитные явления не укладываются в схему ньютоновской механики. Если в механике Ньютона считалось, что силы взаимодействия между телами всецело определяются расстоянием между этими телами, в электродинамике оказалось, что движущиеся заряды, в частности заряды, которые создают электрический ток, вызывают такие действия, с которыми мы не встречаемся, когда рассматриваем заряды, находящиеся в покое. Небесные тела только притягивают друг друга; когда электрические заряды покоятся, они либо притягивают, либо отталкивают друг друга, но в любом случае действующие между ними