Заметим еще по поводу равновесия свободной материальной точки, что им можно воспользоваться для прямого опытного подтверждения параллелограма сил. Для этого служит прибор, принадлежащий Вариньону (Varignon), в котором пользуются натяжением трех нитей, уравновешивая на них при помощи блока и гирек три силы, одна из которых по величине равна равнодействующей двух других, но направлена в противоположную сторону.

14. Динамометры. На практике для статического измерения силы (т. е. при помощи опыта над равновесием тел) пользуются прибором, называемым *динамометром*. Схематически этот прибор сводится к винтообразной пружине AP, которая располагается по направлению и стороне обращения силы F, подлежащей определению. Конец пружины A закрепляется, к концу P прилагается сила; пружина тогда растягивается, и устанавливается равновесие в положении, отличном от свободного. Путь, пройденный точкой P по направлению оси, измеряется передвижением указателя, связанного с концом P, по градуированной скале, прикрепленной к головке A. Чтобы градуировать скалу, применяются веса. Указатель, показание которого читается на скале, когда на точку P действует данная сила F, непосредственно дает искомую величину силы. Это заключение покоится на предположении, что натяжение пружины выражается действием на точку P силы $\overline{\Phi}$, направленной по оси прибора в сторону A; предполагается также, что эта сила (по крайней мере при установившемся равновесии) зависит только от положения точки P или, что то же, от положения указателя. При этих условиях действительно возможно, с одной стороны, уподобить равновесие точки P такому же равновесию свободной точки под действием двух сил F и $\overline{\Phi}$; с другой стороны, всякий раз, как указатель находится в том же положении, мы имеем те же значения силы F. Мы сможем, таким образом, утверждать, что таковы же напряженности силы F; в частности, они равны весам, которые сначала служили для градуирования положений указателя.

7. Закон инерции. Масса.

15. Возвратимся к основному соотношению:

$$F = \frac{p}{g}\, a, \tag{2}$$

которое, так сказать, определяет силу по движению. Непосредственный вывод из этого соотношения заключается в том, что всякий раз как сила F, действующая на точку, обращается в нуль, вместе с ней обращается в нуль и ускорение; таким образом, если в течение некоторого промежутка времени на материальную точку не действует никакая сила, или, что то же, если действующие на точку силы имеют постоянную равнодействующую, равную нулю, то материальная точка во все время, пока эти условия сохраняются, не изменяет вовсе своей скорости. Это означает, что если точка P в начальный момент была в покое, то она сохраняет состояние покоя в течение всего рассматриваемого промежутка времени; если же, напротив, она имела некоторую начальную скорость, то она сохраняет эту скорость без изменения на всем протяжении указанного времени, т. е. движется прямолинейно и равномерно (II, рубр. **16**), и эти условия покоя или прямолинейного равномерного движения остаются до того момента, пока на точку не окажет действия какая-либо новая сила.

Этот принцип, который, как следствие соотношения (2), содержится во всей совокупности гипотез, уже допущенных относительно динамического действия силы, носит название *закона инерции;* его выражают в наглядной форме, говоря, что *материя сама по себе инертна.*

Принцип инерции, таким образом, содержит два утверждения, из которых одно относится к случаю покоящейся точки, другое к точке, имеющей уже определенную скорость.

Заключение, относящееся к состоянию покоя, действительно совершенно правильно. Самые обычные наблюдения делают совершенно очевидным, что для изменения состояния покоя, или, как говорят, для преодоления инерции тела, всегда необходимо действие некоторой силы.

Совершенно иной характер носит вторая сторона закона инерции. Она не проистекает от прямого наблюдения; больше того, она как будто даже противоречит обычному опыту, согласно которому все движения, не поддерживаемые теми или иными приспособлениями (силами), стремятся угаснуть. Только путем абстракции можно притти к заключению, что в отсутствии силы скорость материальной точки действительно сохраняется без изменения. Достаточно проанализировать какое-либо явление, в котором мы этого сохранения скорости не наблюдаем, чтобы легко убедиться, что это происходит под влиянием какой-либо силы. Можно непосредственно убедиться, что всякий раз как такую силу удается ослабить, тенденция к изменению скорости всегда становится менее заметной. С другой стороны, мы имеем грандиозные примеры неспособности материи самой по себе менять присущую ей скорость; достаточно подумать об энергичном воздействии, которое необходимо произвести, чтобы остановить поезд, или о разрушительных последствиях внезапной его остановки.

Таким образом после некоторых рассуждений, идущих от конкретного к абстрактному, путем последовательных приближений, мы в конце концов находим естественным или даже необходимым то, что на первый взгляд казалось парадоксальным.

Интересно отметить, что вторая часть закона инерции была с точностью формулирована и установлена только после столетней разработки этого вопроса; повидимому, это было сделано уже Леонардо да Винчи[1]), далее ближайшими последователями Коперника[2]) и Галилеем.

Первая часть этого принципа, непосредственно доступная грубому наблюдению, была уже известна древним и фигурирует среди „Начал" Аристотеля.

16. Чтобы, далее, уточнить значение основного уравнения (2)

$$F = \frac{p}{g} a,$$

необходимо остановить внимание на коэфициенте $\frac{p}{g}$.

Если мы ограничиваемся абсолютным значением обоих членов, то из уравнения (2) вытекает:

$$\frac{F}{a} = \frac{p}{g}; \tag{4}$$

иными словами, какова бы ни была сила F, действующая на данную материальную точку, отношение напряженности силы к напряженности соответствующего ускорения равно $\frac{p}{g}$; таким образом это отношение носит характер свойства, присущего рассматриваемой материальной точке.

Но здесь необходимо размышление существенной важности Формулируя различные причины, относящиеся к динамическому эффекту силы, и объединяя их в формуле (2), мы руководились рядом экспериментальных наблюдений *локального характера*, поскольку мы всегда молчаливо допускали, что экспериментирование происходит *в определенном месте*. При этих условиях, естественно, возникает вопрос, отражается ли этот чисто локальный характер также на самом уравнении (2); это тем более важно, что ускорение силы тяжести g, как мы уже видели в кинематике (II, рубр. 27), незначительно меняется от места к месту. Но если, не входя в детали, мы примем взгляд, давно вошедший в сознание широкого круга людей, что сила веса вызывается притяжением земли, то становится

---

1) Леонардо да-Винчи (Leonardo da Vinci) родился в Винчи во Флоренции в 1452 г., умер в 1519 г. в замке вблизи города Амбуаса (Amboise), предоставленном в его распоряжение. От 1482 до 1499 г. он жил в Милане в качестве инженера герцога Людовика Сфорцы (Мавра). Это был универсальный гений; он оставил бессмертные произведения искусства и зародыши самых грандиозных концепций в разнообразных областях научной мысли. Нам достаточно будет напомнить, каким новшеством в области механики были его вклады различного рода в военно-инженерное дело и гидравлику; в области механики он разрабатывал, в частности, теорию волнового движения и полета.

2) Николай Коперник (Nicol Copernicus) родился в городе Торне, в Польше, в 1473 г., умер в Фрауэнбурге (в Восточной Пруссии), где он состоял каноником кафедрального собора. Он преподавал в Кракове и Вене, а потом в Болонье, Падуе и Риме. В этом последнем городе он читал также лекции по математике и астрономии. Система мира, носящая его имя, была опубликована в Нюренберге в 1543 г. вскоре после его смерти, в 1543 г., под названием „De revolutionibus orbium caelestium libri VI".

естественной гипотеза, что и вес подвергается незначительным изменениям от места к месту соответственно изменениям ускорения; и если, с другой стороны, учесть, что в *данном месте* в силу соотношения (4) отношение между напряженностью действующей силы и соответствующим ускорением не зависит от рассматриваемой силы, то будет совершенно естественно допустить, что отношение $\frac{p}{g}$ для данной материальной точки носит совершенно ингерентный характер, т. е. что оно зависит от материальной природы тела, а не от какого-либо местного влияния. Это есть новое расширение взгляда на независимость агентов, с которой мы уже не раз встречались.

Это отношение $\frac{p}{g}$ представляет собой *массу*[1]) материальной точки.

Мы будем обозначать ее через m, и основное уравнение (2) примет тогда свою классическую форму:

$$F = ma, \tag{5}$$

на которую мы можем смотреть, как на полный синтез всех постулатов, нами до сих пор введенных. Здесь вектор F, вообще переменный, охватывает все воздействия, оказываемые на движение материальной точки окружающими обстоятельствами; между тем, масса остается неизменной по отношению к движению, характеризуя то, что в неотчетливой, но выразительной форме можно назвать *количеством* и *качеством вещества*, образующего материальную точку; как коэфициент в уравнении (5), масса характеризует отношение вещества к действию динамических агентов.

К этому приводят следующие соображения. Если сопоставим массы двух материальных частиц, состоящих из того же самого однородного вещества (например дестиллированная вода при 4° С и 760 *мм* давления, или однородное железо, или сталь), то они, будучи в данном месте вычислены на основе уравнения

$$m = \frac{p}{g}, \tag{6}$$

оказываются пропорциональными соответствующим весам (местным); а так как речь идет об однородном веществе, то они пропорциональны соответствующим объемам (рубр. **13**). С другой стороны, если мы обратимся к двум частицам какой угодно материальной структуры с массами m_1 и m_2 и представим себе,

---

[1]) Небесполезно будет здесь заметить, что этот совершенно ингерентный характер массы, на практике оправдывающийся с весьма большим приближением (более чем достаточным не только для техники, но и для физических и астрономических приложений), в так называемой *релятивистской механике* не признается абсолютно точным (II, рубр. **3**); эта своеобразная дисциплина приводит к допущению, что масса тела может изменяться (весьма слабо) под действием движения или даже *других динамических агентов*.

что на них действует одна и та же сила F, то для соответствующих ускорений a_1 и a_2 будем иметь:

$$F = m_1 a_1 \quad \text{и} \quad F = m_2 a_2;$$

переходя к скалярным значениям правых частей, получим:

$$a_1 : a_2 = m_2 : m_1;$$

это значит, что при равных воздействиях скалярные ускорения, испытываемые различными материальными точками, обратно пропорциональны их массам. Таким образом масса указывает различную степень сопротивляемости материальных точек действию динамических агентов — сил; иными словами, она характеризует их *динамическую инерцию.* Этим оправдывается название, которое иногда дают массе — *коэфициент инерции.* Отметим, наконец, что на основе соотношения (6) масса 1 принадлежит каждой частице, в которой в данном месте вес имеет то же значение, что и ускорение g силы тяжести. С другой стороны, если примем для g значения 9,8 (*м/сек*), то мы получаем по формуле (6) приближенное соотношение:

$$m = 0{,}102p,$$

которым пользуются на практике для вычисления массы тела по данному его весу.

8. Спецификация системы отсчета; коррегирующее влияние небесной механики. Неподвижные оси и абсолютное движение. Галилеевы триэдры.

17. До сих пор мы все время руководились более или менее непосредственной индукцией, которую мы всегда основывали на простых, хорошо нам знакомых, явлениях, непосредственно принадлежащих области наших ощущений.

Во всех рассуждениях, касавшихся этих явлений, и в индукции, которую мы из них выводили, речь всегда шла о силах и о движениях. Но при этом не было отчетливо высказано, что речь шла всегда о движениях (а вместе с тем о скоростях, о состоянии покоя, об изменениях скорости и ускорениях) относительно наблюдателя, находящегося в покое в данном месте, или, что то же, относительно осей координат, как-либо закрепленных в данной точке на поверхности земли; об этом не было речи потому, что по ходу наших рассуждений это могло казаться излишним.

Однако Ньютон пришел к широкому обобщению принципов механики, признав их применимыми не только к земным явлениям, но и к движениям небесных тел. Но при такого рода расширения принципов динамики необходимо принять во внимание одно существенное обстоятельство, а именно выбор системы отсчета. После того как благодаря трудам Копер-