

Следующие предложения-теоремы развивают полученный результат для конкретных примеров тел. В том числе доказывается и аналог уже упоминавшейся теоремы Гюйгенса – Штейнера (Предложение IX), показывается, что  $l_0 > r_c$ , устанавливаются правила вычисления разности  $l_0 - r_c$  (Предложение XVIII) и возможности перемены мест подвеса и центра качания (Предложение XX), используется понятие периода и частоты<sup>1</sup> колебаний (Предложение XXV).

## 2.9. Теория центробежных сил

Круговое движение планет, маятников происходит по наблюдаемым, известным траекториям. Первые попытки объяснения причин кругового движения тел, как известно, предпринимались еще в Древней Греции. К середине XVII в. прежние метафизические объяснения теряют былую популярность и заменяются либо вихревой теорией Декарта, либо идеей взаимного притяжения тел. Как уже отмечалось, Борелли в 1666 г. высказал мысль о том, что в процессе движения планеты по орбите сила притяжения к Солнцу уравновешивается некоторой силой отталкивания от Солнца, вызванной вращательным движением планеты по орбите. Изучая колебания маятника, Гюйгенс установил, что эти движения происходят под действием тяжести, но в процессе движения возникает некоторая дополнительная сила, натягивающая нить даже в горизонтальном положении. Некоторые теоремы об этой силе, названной Гюйгенсом *центробежной*, он сообщил в 1669 г. Лондонскому королевскому обществу в виде анаграммы. В 1673 г. тринадцать теорем (без доказательств) были опубликованы в пятой части «Маятниковых часов». И только в 1703 г. появилось посмертное сочинение «О центробежной силе»<sup>2</sup>, в котором раскрывается смысл этого понятия и приводятся доказательства.

Идея центробежной силы заинтересовала Гука и Ньютона, как возможность определения противоположной силы — *силы центростремительной* или *силы гравитационного притяжения* планеты к Солнцу.

<sup>1</sup>Без определения и названия, но с указанием правила для их вычисления: «...длины каких-либо двух маятников относятся между собой как квадраты времен, потребных для одного колебания, вследствие этого они обратно пропорциональны квадратам чисел, которые указывают, сколько колебаний происходит за определенный промежуток времени» [27, с. 200–201].

<sup>2</sup>Основная часть сочинения была написана в 1659 г.

В связи с развитием дифференциального исчисления эта идея получила дальнейшее развитие в трудах Лейбница, Лопиталья, Вариньона, И. Бернулли. Позднее центробежные силы стали атрибутом теоретической механики, как разновидность сил инерции, породивших длительные споры о их реальности и позволивших, по предложению Даламбера, описывать динамические процессы статическими уравнениями.

Из введения и первых пяти предложений-теорем сочинения Гюйгенса следует, что при круговом движении центробежная сила пропорциональна весу (величине) тела, квадрату скорости и обратно пропорциональна радиусу окружности. В предложении VI используется<sup>1</sup> понятие *угловой скорости* тела и показывается (в современных обозначениях), что при горизонтальном вращении точки по окружности радиуса  $R = g$  (радиус равен численной величине ускорения свободного падения) с угловой скоростью  $\omega = 1$  на нее будет действовать центробежная сила, равная весу. Следующие девять теорем посвящены *силам инерции*, возникающим при движении точки по конической поверхности. И последние две теоремы устанавливают величину *силы натяжения* нити маятника в его нижнем положении  $B$  в случае начала движения с уровня точки подвеса  $C$  и из верхней точки  $D$  траектории (вертикальной окружности, рис. 2.9.1).

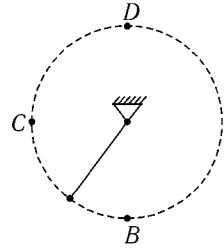


Рис. 2.9.1

Из того, что центробежная сила натягивает нить маятника так же, как и сила тяжести, Гюйгенс делает вывод об аналогичности и реальности этих сил. Возможно, А. К. Клеро в 1742 г. первым обратил внимание на фиктивный характер центробежной силы<sup>2</sup>. Но наиболее ясно это было высказано через 150 лет Герцем: «Заставим вращаться камень, привязанный к нити; как известно, таким образом мы прикладываем к камню некоторую силу; эта сила последовательно удаляет камень с прямолинейной траектории, и если мы изменим эту силу, массу камня и длину нити, то убедимся, что движение камня происходит в соответствии со вторым законом Ньютона. Но третий закон требует существования реакции, противоположной силе действия нашей руки на камень. На вопрос, касающийся этой реакции, отвечает хорошо извест-

<sup>1</sup>Но не определяется и не вводится обозначение.

<sup>2</sup>Более подробно эта проблема обсуждается П. В. Харламовым [87].

ное утверждение: камень действует на руку силой инерции, и эта сила инерции в точности противоположна приложенной нами силе. Можно ли так утверждать? Разве то, что мы называем силой инерции или центробежной силой, не есть инерция тела? Можем ли мы, не нарушая ясности представлений, дважды учитывать действие инерции: первый раз в связи с наличием массы и второй раз как силу. В наших законах движения сила была причиной движения, существующей до движения. Можем ли мы, не запутывая наши представления, говорить о силе, порождаемой движением, являющейся следствием движения? Можем ли мы делать вид, что в наших законах уже определили нечто касающееся природы этих новых сил? Можем ли мы делать вид, что имеем право приписывать им свойства сил только потому, что им предоставлено название силы? На все эти вопросы следует открыто ответить — нет; и нам ничего не остается, кроме следующего объяснения: представление силы инерции в качестве силы непригодно; это название, как и название живой силы, является пережитком истории и причины полезности больше служат подтверждением бездоказательности использования этого названия. Но что становится, таким образом, требованием третьего закона, кому нужна сила, действующая со стороны неодушевленного камня на руку и кто не удовлетворен наличием только реальной силы, а не простым названием?» [20, с. 6–7].