к тому, что центр тяжести его опускается, равновесие тела неустойчиво. При малейшем отклонении возникает момент силы тяжести, действующей в сторону отклонения и стремящийся его увеличить, и тело «опрокидывается».

Бывают случаи, когда отклонение тела от положения равновесия не изменяет высоту центра тяжести тела над точкой опоры, – такое положение называют безразличным равновесием. В безразличном равновесии находится, например, однородный шарик на горизонтальной плоскости. Заметим, что когда равновесие безразличное, а тело и опора в области контакта имеют сферические формы, выполняется равенство

$$CP = \frac{Rr}{R+r}, \qquad (4)$$

которое справедливо и для однородного шарика на горизонтальной плоскости, если считать, что $R \to \infty$. Но будет ли это соотношение достаточным условием безразличного равновесия? Оказывается, нет. Приведем хотя бы один пример, когда условие (4) выполняется, а равновесие тела неустойчивое. Рассмотрим тело шарообразной формы на вершине закрепленной сферы того же радиуса, при условии, что центр тяжести тела находится на половине его радиуса r, т.е. $CP = r/2$. Нетрудно показать (проделайте это самостоятельно), что равновесие тела на сфере неустойчивое, хотя соотношение (4) строго выполняется. При любом конечном угле наклона тела от равновесного положения центр тяжести тела опускается, и оно скатывается со сферы (см. упражнение 2).

Обратим внимание на то, что при выводе критерия устойчивости мы рассматривали малые отклонения тела от положения равновесия и учитывали в расчетах лишь линейные члены, пропорциональные α. В линейном приближении тело или система тел могут находиться в безразличном равновесии, но когда мы при более точных расчетах учитываем члены высших порядков, например пропорциональные α^2, α^3 и т.д., то равновесное положение по расчетам оказывается неустойчивым, что и наблюдается на практике.

Теперь нам понятно, что такое «качающаяся скала»: это вертикально стоящий камень с низко расположенным центром тяжести или большим радиусом кривизны основания. Отклонение камня (правда, в некоторых пределах; см. упражнение 2) приводит к его колебаниям около положения равновесия. Качающаяся скала – это камень-маятник.

Конечно, нелегко рукой «средней силы» расшатать огромный каменный столб. Дело не только в том, что у качающейся скалы большая масса и, для того чтобы сообщить ей заметное ускорение, нужно приложить очень большую силу. Из-за деформации опоры под действием веса камня могут возникать силы реакции, препятствующие отклонению скалы от вертикали. И тем не менее, качающиеся скалы или, по крайней мере, большие качающиеся камни (rocking stones) существуют в природе. Может быть, и вы среди каменных валунов встречали нечто подобное?

Рассказ А.Грина «Качающаяся скала» появился в 1915 году в журнале «20 век». Откуда Грин узнал о качающейся скале? По всей видимости, первоисточником для него послужила книга Я.И.Перельмана «Занимательная физика», первое издание которой вышло в свет в 1913 году и сразу же стало ошеломляюще успешным. Перельман поместил в этой книжке коротенькую заметку о качающейся скале, находящейся в окрестностях аргентинского морского порта Бахия-Бланка (рис.3). Особенностью качающейся скалы из Бахия-Бланки было ее непрерывное медленное движение из стороны в сторону, предположительно из-за неоднородного нагрева скалы солнечными лучами или охлаждения, которые приводили к небольшому блужданию положения центра тяжести. Жаль, что этот забавный сюжет выпал из более поздних изданий «Занимательной физики».


Рис.3

Рассмотрим теперь примеры, которые не требуют путешествия в горы, но по своей природе они такие же, как качающаяся скала.

Пример 1. У однородного шара центр тяжести совпадает с геометрическим центром, поэтому шар неустойчив на выпуклой поверхности. Однако, если у шара срезана «верхушка», он может стоять устойчиво на вершине выпуклой поверхности (см. упражнение 3).

Пример 2. Забавная детская игрушка «ванька-встанька» напоминает пример 1. Кусок свинца или стали, спрятанный у шарообразного основания «ваньки-встаньки», придает игрушке удивительную устойчивость.

А все ли знают, что у «ваньки-встаньки» были (а может быть, есть кое-где и сейчас) родственники? «Было когда-то на свете двадцать пять оловянных солдатиков. Все они были сыновьями одной матери – старой оловянной ложки – и, значит, приходились друг другу родными братьями. Они были очень красивы: ружье на плече, грудь колесом, мундир красный с синим. Чудо, что за солдатики...» Это – стойкие оловянные солдатики из сказки Андерсена. Почему их называли «стойкими»? Наверное, потому, что как бы их ни наклоняли, они всегда возвращались в вертикальное положение. Когда открывали коробку, в которую были уложены такие солдатики, все они вскакивали словно по команде. Каждый солдатик крепился на гладком срезе свинцовой полусферы и стоял удивительно устойчиво.

Пример 3. Как известно, однородный эллипсоид вращения (или вытянутый сфероид), т.е. тело вращения кривой $(x/a)^2 + (y/b)^2 = 1$ вокруг большой оси $X (a > b)$, не может стоять вертикально на плоскости стола: радиус кривизны в вершине эллипсоида, или, что то же самое, радиус сферы, которая аппроксимирует форму поверхности тела в вершине, равен b^2/a, в то время как центр тяжести находится