

Равновесием называется такое состояние системы, при котором силы, действующие на систему, уравновешены между собой. Равновесие может быть устойчивым, неустойчивым или безразличным.

Понятие равновесия — одно из самых универсальных в естественных науках. Оно применимо к любой системе, будь то система планет, движущихся по стационарным орбитам вокруг звезды, или популяция тропических рыбок в лагуне атолла. Но проще всего понять концепцию равновесного состояния системы на примере механических систем. В механике считается, что система находится в равновесии, если все действующие на нее силы полностью уравновешены между собой, то есть гасят друг друга. Если вы читаете эту книгу, например, сидя в кресле, то вы как раз и находитесь в состоянии равновесия, поскольку сила земного притяжения, тянущая вас вниз, полностью компенсирована силой давления кресла на ваше тело, действующей снизу вверх. Вы не проваливаетесь и не взлетаете именно потому, что пребываете в состоянии равновесия.

Различают три типа равновесия, соответствующие трем физическим ситуациям.

### Устойчивое равновесие

Именно его большинство людей обычно и понимают под «равновесием». Представьте себе шар на дне сферической чаши. В состоянии покоя он находится строго в центре чаши, где действие силы гравитационного притяжения Земли уравновешено силой реакции опоры, направленной строго вверх, и шар покоится там подобно тому, как вы покоитесь в своем кресле. Если сместить шар в сторону от центра, откатив его вбок и вверх в направлении края чаши, то, стоит его отпустить, как он тут же устремится обратно к самой глубокой точке в центре чаши — в направлении положения устойчивого равновесия.

Вы, сидя в кресле, находитесь в состоянии покоя благодаря тому, что система, состоящая из вашего тела и кресла, находится в состоянии устойчивого равновесия. Поэтому при изменении каких-то параметров этой системы — например, при увеличении вашего веса, если, предположим, вам на колени сел ребенок, — кресло, будучи материальным объектом, изменит свою конфигурацию таким образом, что сила реакции опоры возрастет, — и вы останетесь в положении устойчивого равновесия (самое большее, что может произойти, — подушка под вами промнется чуть глубже).

В природе имеется множество примеров устойчивого равновесия в различных системах (и не только механических). Рассмотрим, например, отношения хищник—жертва в экосистеме. Соотношение численностей замкнутых популяций хищников и их жертв

достаточно быстро приходит в равновесное состояние — столько-то зайцев в лесу из года в год стабильно приходится на столько-то лис, условно говоря. Если по каким-либо причинам численность популяции жертв резко изменяется (из-за всплеска рождаемости зайцев, например), экологическое равновесие будет очень скоро восстановлено за счет быстрого прироста поголовья хищников, которые начнут истреблять зайцев ускоренными темпами, пока не приведут поголовье зайцев в норму и не начнут сами вымирать от голода, приводя в норму и собственное поголовье, в результате чего численности популяций и зайцев, и лис придут к норме, которая наблюдалась до всплеска рождаемости у зайцев. То есть в устойчивой экосистеме также действуют внутренние силы (хотя и не в физическом понимании этого слова), стремящиеся вернуть систему в состояние устойчивого равновесия в случае отклонения системы от него.

Аналогичные эффекты можно наблюдать и в экономических системах. Резкое падение цены товара приводит к всплеску спроса со стороны охотников за дешевизной, последующему сокращению товарных запасов и, как следствие, росту цены и падению спроса на товар — и так до тех пор, пока система не вернется в состояние устойчивого ценового равновесия спроса и предложения. (Естественно, в реальных системах, и в экологических, и в экономических, могут действовать внешние факторы, отклоняющие систему от равновесного состояния — например, сезонный отстрел лис и/или зайцев или государственное ценовое регулирование и/или квотирование потребления. Такое вмешательство приводит к смещению равновесия, аналогом которого в механике будет, например, деформация или наклон чаши.)

### Неустойчивое равновесие

Не всякое равновесие, однако, является устойчивым. Представьте себе шар, балансирующий на лезвии ножа. Направленная строго вниз сила земного притяжения в этом случае, очевидно, также полностью уравновешена направленной вверх силой реакции опоры. Но стоит отклонить центр шара в сторону от точки покоя, приходящейся на линию лезвия хоть на долю миллиметра (а для этого достаточно мизерного силового воздействия), как равновесие будет мгновенно нарушено и сила земного притяжения начнет увлекать шар всё дальше от него.

Примером неустойчивого природного равновесия служит тепловой баланс Земли при смене периодов глобального потепления новыми ледниковыми периодами и наоборот (с

М. Циклы Миланковича). Среднегодовая температура поверхности нашей планеты определяется энергетическим балансом между суммарным солнечным излучением, достигающим поверхности, и суммарным тепловым излучением Земли в космическое пространство. Неустойчивым этот тепловой баланс становится следующим образом. В какую-то зиму выпадает больше снега, чем обычно. На следующее лето тепла не хватает, чтобы растопить излишки снега, и лето оказывается также холоднее обычного

вследствие того, что из-за переизбытка снега поверхность Земли отражает обратно в космос большую долю солнечных лучей, чем прежде. Из-за этого следующая зима оказывается еще более снежной и холодной, чем предыдущая, а следующим за ней летом на поверхности остается еще больше снега и льда, отражающего солнечную энергию в космос... Нетрудно увидеть, что чем больше такая глобальная климатическая система отклоняется от исходной точки теплового равновесия, тем быстрее нарастают процессы, уводящие климат еще дальше от нее. В конечном итоге, на поверхности Земли в приполярных областях за долгие годы глобального похолодания образуются многокилометровые напластования ледников, которые неумолимо продвигаются в направлении всё более низких широт, принося с собой на планету очередной ледниковый период. Так что трудно себе представить более шаткое равновесие, чем глобально-климатическое.

Особого упоминания заслуживает разновидность неустойчивого равновесия, называемая *метастабильным*, или *квазиустойчивым равновесием*. Представьте себе шар в узкой и неглубокой канавке — например, на повернутом острием вверх лезвии фигурного конька. Незначительное — на миллиметр-другой — отклонение от точки равновесия приведет к возникновению сил, которые вернут шар в равновесное состояние в центре канавки. Однако уже чуть большей силы хватит для того, чтобы вывести шар за пределы зоны метастабильного равновесия, и он свалится с лезвия конька. Метастабильные системы, как правило, обладают свойством пребывать какое-то время в состоянии равновесия, после чего «срываются» из него в результате какой-либо флуктуации внешних воздействий и «сваливаются» в необратимый процесс, характерный для нестабильных систем.

Типичный пример квазиустойчивого равновесия наблюдается в атомах рабочего вещества некоторых типов лазерных установок. Электроны в атомах рабочего тела лазера занимают метастабильные атомные орбиты и остаются на них до пролета первого же светового кванта, который «сбивает» их с метастабильной орбиты на более низкую стабильную, испуская при этом новый квант света, когерентный пролетающему, который, в свою очередь, сбивает с метастабильной орбиты электрон следующего атома и т. д. В результате запускается лавинообразная реакция излучения когерентных фотонов, образующих лазерный луч, которая, собственно, и лежит в основе действия любого лазера.

### Безразличное равновесие

Промежуточный случай между устойчивым и неустойчивым равновесием — так называемое безразличное равновесие, при котором любая точка системы является точкой равновесия, и отклонение системы от исходной точки покоя ничего не изменяет в раскладе сил внутри нее. Представьте себе шар на абсолютно гладком горизонтальном столе — куда бы вы его ни сместили, он останется в состоянии равновесия.

