

кул жидкости. В соответствующих рассуждениях все как будто было в порядке – когда частица маленькая, совокупная сила толчков в том или ином направлении может преобладать на протяжении небольшого отрезка времени. Почему же мы с полным основанием говорим, что правильное объяснение явления принадлежит Эйнштейну и Смолуховскому и получено лишь в 1905–1906 годах?

Дело в том, что в XIX веке ученые еще не умели теоретически описывать процессы случайного блуждания, а следовательно, и наблюдаемые зигзагообразные траектории броуновских частичек. Господствовало заблуждение, согласно которому отдельные столкновения пробной частицы с молекулами окружения, налетающими с разных сторон с *равной* вероятностью, уравновесят друг друга и дадут в среднем *нулевое* смещение. Поэтому-то научная общественность и не приняла разумную и, как оказалось потом, правильную гипотезу, приведенную выше. На самом деле рассуждения о неизбежном усреднении влияния случайных толчков глубоко ошибочны!

Как указывал Смолуховский, допущенная ошибка сродни той, которую часто делает неосторожный игрок в азартные игры. Этому игроку кажется, что при «честной» игре со случайным результатом в каждом туре (например, при подбрасывании монеты) и неизменными ставками проигрыш после достаточно продолжительной игры не может превысить одну ставку. На самом деле это ошибка, могущая стать роковой для игрока. Как следует из теории вероятностей, случайный проигрыш (или эквивалентный ему выигрыш) в азартной игре такого сорта пропорционален квадратному корню из числа туров (подбрасываний монеты). Доказательство этого вывода принадлежит Смолуховскому.

Огромной заслугой Смолуховского явилось выяснение аналогии между вероятностными играми, с одной стороны, и процессами случайного блуждания, включающими броуновское движение и диффузию, с другой. Он сделал революционное предположение, что безнадежно сложную динамическую задачу о столкновениях микрочастички с молекулами окружения можно свести к относительно простым вероятностным рассуждениям: следствие каждого столкновения как бы моделируется подбрасыванием монеты, а динамические законы механики лишь определяют базовые значения вероятностей перескока частички в другое положение в каждом элементарном акте. Из отмеченной аналогии следует, что амплитуда ее среднего смещения в результате случайного процесса будет пропорциональна *корню квадратному* из времени наблюдения. Именно эти идеи Смолуховского и легли в основу современной теории стохастических процессов в естественных науках и в экономике.

Саму формулу для зависимости смещения броуновской частицы от времени на год раньше, чем Смолуховский, получил Эйнштейн, исходя из общих принципов статистической физики и весьма сложных рассуждений. Однако оригинальный вывод Смолуховского имеет не только методическую ценность. После наглядной

демонстрации Смолуховским действенности кинетической теории Больцмана физики начала XX века прониклись уверенностью в справедливость термодинамической теории флуктуаций, окончательно поверили в тепловую природу броуновского движения.

Смолуховский получил свой результат для наиболее общего случая трехмерных блужданий частиц, что требует применения сферической тригонометрии. Однако в двумерной геометрии, наиболее важной для осуществления практических наблюдений, расчеты упрощаются. (Этот вариант схематически рассматривается в Дополнении к статье.)

Теория Смолуховского и Эйнштейна была блестяще подтверждена в экспериментах Перрена и Сведберга. Теперь уже не осталось никаких сомнений касательно существования атомов и молекул – первичных частиц материи, которая находится в нормальных, земных условиях. (Для больших энергетических и меньших пространственных масштабов эта первичность, как известно, не имеет места, и «пальма первенства» переходит к ядрам и электронам, а затем – к кваркам и различным лептонам.) Свое идеологическое поражение признал лидер так называемого «энергетизма» (термодинамического подхода на основе непрерывности материи) и многолетний критик Больцмана В.Оствальд, который, наконец, понял, что существование атомов с необходимостью диктуется опытом. Исторические корни поверженного «энергетизма», как указывали Больцман и Эйнштейн, представляют собой чрезмерную, «аллергическую» реакцию на неспособность примитивных механических построений, столь популярных в течение XVII–XVIII столетий, объяснить электрические, магнитные и тепловые явления.

Работы Эйнштейна и Смолуховского, вызванные необходимостью дать объяснение броуновскому движению, вышли далеко за пределы этой скромной цели. Эти ученые создали *теорию флуктуаций*, радикально расширив статистическую термодинамику. В частности, современная теория фазовых переходов является флуктуационной, а построенная в начале XX века теория флуктуаций служит для нее основой. Важно подчеркнуть, что больцмановские идеи о статистическом характере второго закона термодинамики были развиты и доведены до современного уровня именно Эйнштейном и Смолуховским. Они показали, что второй закон справедлив лишь с точностью до флуктуаций, которые в малом пространственном и временном масштабе постоянно изменяют преимущественное направление кинетических процессов. Только отвлекшись от флуктуаций или избавившись от них путем усреднения по времени и (или) по пространству, можно воспроизвести основное направление этих процессов, однозначно и непрерывно переводящих замкнутую систему в равновесное состояние. Кстати, для так называемых открытых систем, обменивающихся с окружающей средой энергией или частицами, это уже не так. В них могут возникать причудливые неравновесные структуры – предмет исследования синергетики, относительно нового раздела статистической физики, возникшего в 60-е годы XX века.