

Физика 9—11

Публикуемая ниже заметка «Вращение: реки, тайфуны, молекулы» предназначена девятиклассникам, заметка «Эстафетный бег молекул, или Как работает термос» — десятиклассникам, «Атомный лазер» — одиннадцатиклассникам.

Вращение: реки, тайфуны, молекулы

А. СТАСЕНКО

А ЧТО между ними — реками, тайфунами, молекулами — общего? Разве только то, что всё состоит из молекул? Однако, их объединяет и нечто другое (о чем мы собираемся поговорить) — явление, которое возникает при движении во вращающейся системе координат и которое связано с так называемыми *ускорением Кориолиса* и *силой Кориолиса*. Именно эта сила делает одни берега рек крутыми, другие — пологими, закручивает тайфуны и даже... вторгается во внутреннюю «жизнь» молекул. Итак...

Рассмотрим два соседних кольцевых пояса на поверхности Земли, связанных с географическими параллелями θ_1 и θ_2 . Эти два пояса отмечены на рисунке 1 разными цветами. Понятно, что чем больше широта θ , тем меньше линейная (окружная) скорость ($v_2 < v_1$). Например, на полюсе ($\theta = 90^\circ$) она вообще равна нулю.

Пусть в северном полушарии река Некая течет с юга на север вдоль меридиана, т.е. перпендикулярно параллелям. Частицы воды при «пересадке» с параллели θ_1 на θ_2 по инерции стре-

мятся сохранить скорость v_1 (направленную к востоку) и, если бы поверхность Земли была гладкой и скользкой, они, попав на широту θ_2 , отклонились бы *вправо* (пунктир на рисунке 1), т.е. к востоку. Земной наблюдатель сказал бы, что на частицы воды действует сила, перпендикулярная скорости их движения, — уже упомянутая кориолисова сила (Гюстав Гаспар Кориолис, 1829 г.). Но уж если река течет в своем русле, то эти частицы воды будут ударяться о правый берег (ведь он движется к востоку со скоростью $v_2 < v_1$) и, следовательно, будут постепенно его разрушать.

Если мы рассмотрим реку Таковую-то, текущую с севера на юг, то убедимся, что она стремится отклониться к западу, но относительно своего движения опять же *вправо*.

Вот почему у всех меридиональных рек в северном полушарии правые берега крутые, левые — пологие. (И, конечно, уровень воды у правого берега всегда несколько выше, чем у левого.) Очевидно, что в южном полушарии меридиональные реки будут размывать *левые* берега.

Этот географический факт был сформулирован выдающимся естествоиспытателем Карлом Бэрром (1857 г.) с учетом своих собственных и более ранних наблюдений русских исследователей (начиная с 1826 г.). При этом он верно объяснил подмеченное явление влиянием вращения Земли.

Особенно ярко действие кориолисовой силы проявляется при движении масс воды и воздуха в океане и атмосфере. Ну кто не знает, что самое знаменитое океанское течение Гольфстрим (направленное на север в северном полушарии) отклоняется *вправо*, обездо-

ливая теплом Канаду и обогревая Европу! Ведь это та же река, только без берегов.

А как образуются тайфуны — грозные атмосферные явления глобального масштаба (с характерным диаметром порядка тысячи километров), — производящие колоссальные разрушения? Пусть из-за неравномерного нагрева Солнцем поверхности Земли и атмосферы где-то образуется область пониженного давления (барометр «падает», что очень неприятно для моряков). К ней радиально устремляются воздушные массы из соседних областей высокого давления. Но, как мы уже знаем, все эти движущиеся массы, вследствие вращения Земли, стремятся отклониться вправо в северном полушарии или влево — в южном. В результате возникает колоссальный вихрь, в котором массы воздуха вращаются против часовой стрелки в северном полушарии (рис. 2) или по часовой — в южном.

Перейдем теперь к молекулам, а именно — к молекулам газа. Известно, что они не только хаотически мечутся во всех направлениях между столкновениями друг с другом, но еще и быстро вращаются, причем энергия их вращательного движения того же порядка, что и энергия поступательного перемещения. А кроме того, при определенных условиях части молекул (например, атомы или в очень сложных молекулах группы атомов — радикалы) могут колебаться относительно центра масс (центра тяжести) молекулы, и опять же энергия этих колебаний того же порядка, что энергия поступательного и вращательного движений. (В физике этот факт называется принципом равномерного распределения энергии по степеням свободы — но это лишь к слову.)

Рассмотрим простейшую модель трехатомной молекулы, имеющей два одинаковых атома: одинаковые атомы соединены гибкими невесомыми пружин-

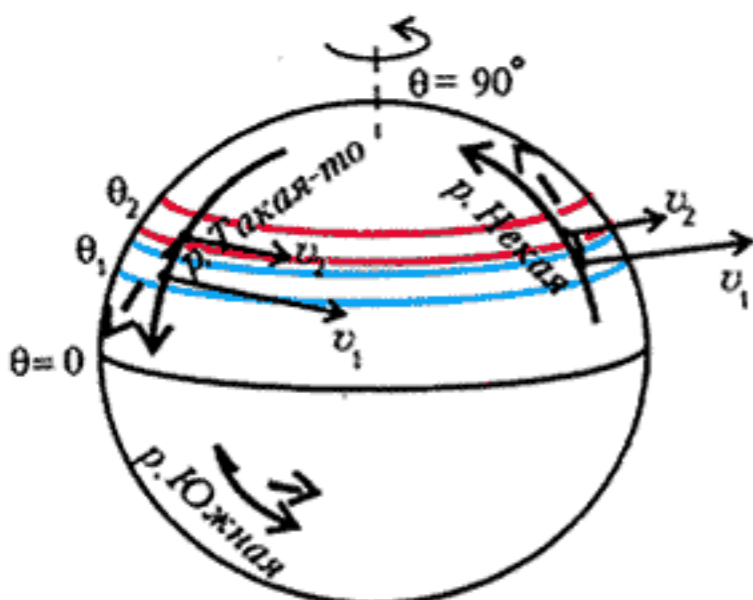


Рис. 1

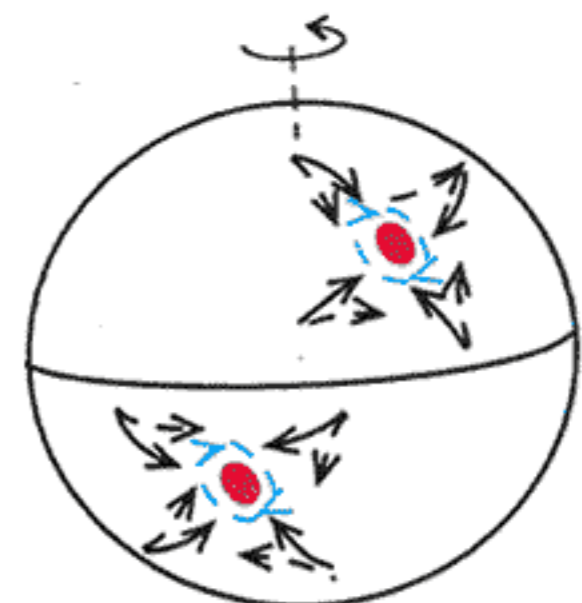


Рис. 2

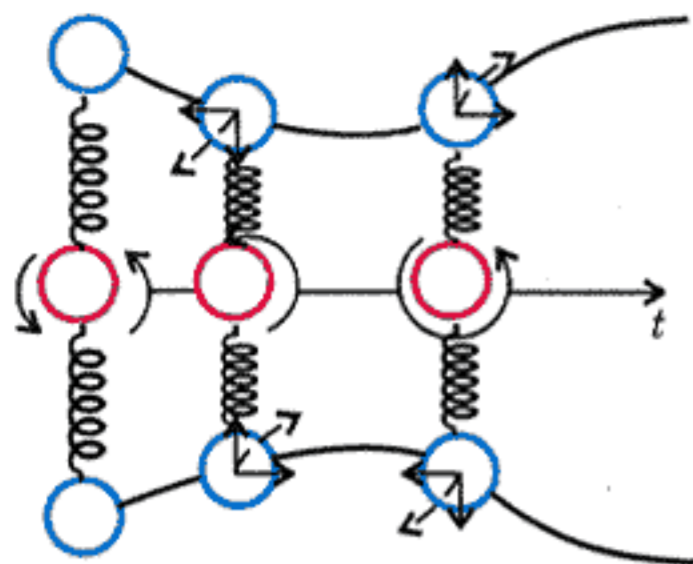


Рис. 3

ками с третьим центральным атомом (рис.3, 4). Например, это может быть молекула углекислого газа CO_2 , очень важная для работы мощных инфракрасных лазеров. Если такая молекула ни с чем не взаимодействует, ее центр масс движется по прямой линии. Направим ось времени вправо и будем следить за движением ее атомов в системе координат, вращающейся вокруг центра масс, — аналогично тому, как мы рассматривали движение рек, океанских течений и воздушных масс на вращающейся Земле.

Возможны два случая колебаний (как говорят физики, две моды): 1) крайние атомы движутся одновременно по направлению к центру масс или от него, т.е. обе пружинки одновременно сокращаются или удлиняются; 2) крайние атомы движутся одновременно в одну и ту же сторону — тогда одна из пружи-

нок сокращается, а другая удлиняется. Можно показать, что в первом случае (см. рис.3) происходит либо ускорение, либо замедление вращения. Например, при встречном движении атомов к центру на них действуют силы Кориолиса, отклоняющие их вправо (относительно их движения к третьему атому) и, следовательно, ускоряющие вращение. При удалении крайних атомов от центра масс силы Кориолиса тоже отклоняют их вправо, но теперь это приводит к замедлению вращения. Точно так же фигурист на льду вращается быстрее, прижимая руки к телу. (К слову, эти явления связаны и с так называемым законом сохранения момента импульса).

А вот во втором случае наблюдается нечто еще более интересное (см. рис.4). Когда крайние атомы молекулы одновременно движутся в одну сторону, силы Кориолиса тоже отклоняют их вправо, но одна из них стремится ускорить вращение относительно центра масс, а другая — замедлить, в результате молекула изогнется. Через четверть периода колебаний явление повторится, но теперь уже молекула будет изогнута в другую сторону. Значит, колебания атомов во вращающейся молекуле приводят к дополнительным изгибным колебаниям. Но поскольку энергии и, значит, скорости движения колебательного и вращательного движений одного порядка (как уже было сказано), их

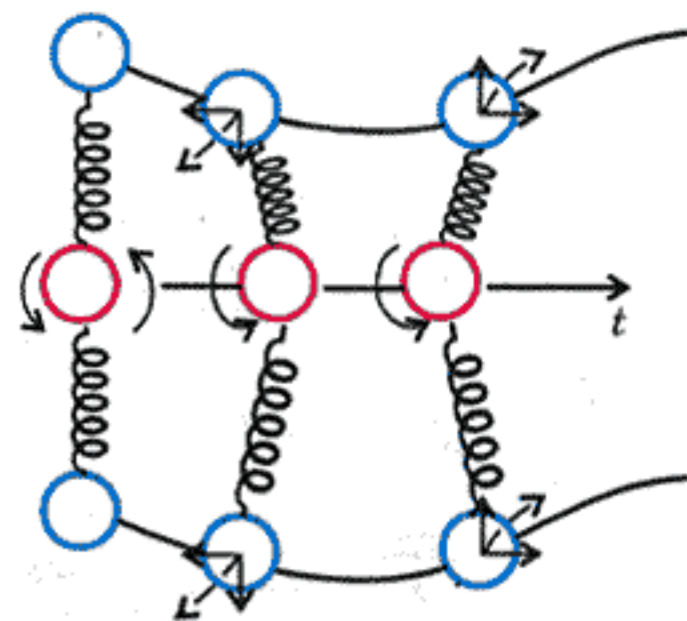


Рис. 4

периоды и частоты могут оказаться близкими друг другу, так что дело пахнет *резонансом*. И поскольку молекулы излучают, все это обязательно скажется на спектре их инфракрасного излучения. Что и наблюдают физики-спектроскописты. (Заметим, что во втором случае колебания крайних атомов и изгибы «пружинок» приведут к тому, что и центральный атом тоже станет как-то перемещаться относительно центра масс, но это не повлияет на рассмотренную нами качественную картину явлений.)

Итак, всюду — даже у рек, тайфунов и молекул — можно найти нечто общее. Ищите да обращайтесь.