



Лаборатория „Кванта“ ●

Вихри... на патефоне

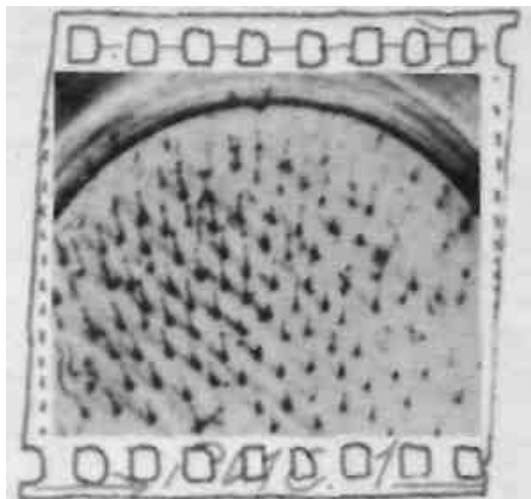
К. ф.-м. н. Б. М. БУБНОВ

В настоящее время у физиков заметно повысился интерес к изучению вихревых движений жидкости и газа. И это не случайно. Уже давно известно, например, что именно вихревое движение циклонов и антициклонов в атмосфере определяет погоду на Земле. (Теперь с аналогичной картиной столкнулись и океанологи.) Оказалось, что океан, как и атмосфера, весь пронизан вихрями (самых разных размеров – от сантиметров до сотен километров), и если их не учесть, это приведет к неправильному пониманию многих важных явлений.

Чем же характеризуется вихревое движение? Главное – наличие вращательного движения относительно некоторого центра, который, в свою очередь, также может двигаться. Дополнительно к вращательному могут быть и другие виды движений, и в зависимости от этого вихри могут быть или плоскими (например, циклон часто можно рассматривать как плоский вихрь, так как его горизонтальные размеры много больше вертикальных), или такими, в которых вертикальные движения соизмеримы с горизонтальными (смерчи, тайфуны, «пыльные дьяволы» и т. п.).

Естественно, что существуют общие закономерности для вихревых движений, независимо от их размеров. Изучение этих закономерностей позволяет ответить на многие важные вопросы: В какую сторону будет двигаться тайфун? Как изменится погода за счет взаимодействия двух циклонов? Попробуем рассмотреть некоторые особенности вихревых движений в простых «домашних»

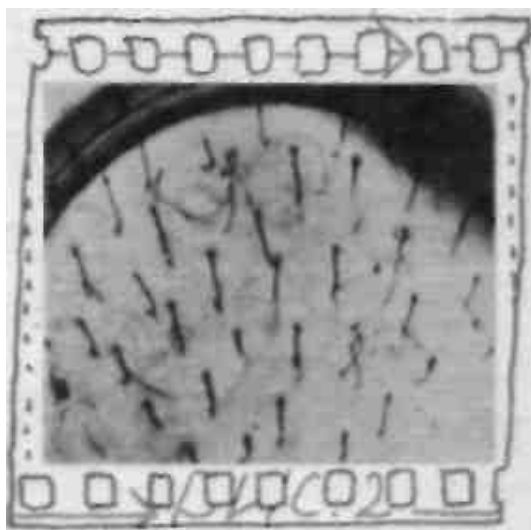
Для проведения этих экспериментов требуется банка, в которую можно налить воду, и проигрыватель. Банка должна иметь вертикальные, желателно прозрачные, стенки, а проигрыватель – скорость вращения 33 об/мин. Наливаем в банку теплой воды и устанавливаем ее на проигрыватель. Включаем его и наблюдаем за движением жидкости в банке.



Сначала происходит постепенное раскручивание жидкости, а через несколько минут жидкость в банке разбивается на отдельные вихри – в системе устанавливается картина движений, изображенная на рисунке 1. Естественно, что в прозрачной воде увидеть эту картину нельзя, поэтому надо как-то сделать эти движения видимыми. Самое простое – аккуратно капнуть в воду чернил или зеленки, для более эффектной картины на поверхность жидкости можно насыпать мелкий краситель. Прежде чем изучать свойства этой вихревой системы, попробуем ответить на вопрос: почему в теплой воде, вращающейся с постоянной скоростью, образуются вихри?

Теплая жидкость, налитая в открытую банку, непрерывно испаряется. За счет испарения на поверхности жидкости непрерывно образуется тонкая холодная пленка, которая обладает большей плотностью, чем остальная жидкость. Эта холодная вода стремится опуститься вниз, причем в невращающейся жидкости такое опускание носит нерегулярный характер и пленка «стекает» отдельными струйками – «термиками». Таким образом, в жидкости происходит непрерывное конвективное перемешивание, т.е. перемешивание, вызванное различием в плотности отдельных частей жидкости.

Если жидкость начать вращать, то нерегулярное конвективное движение упорядочивается и в системе образуется вихревая решетка. В общем случае вращение стремится запретить или ослабить движения, которые происходят в плоскости, перпендикулярной оси вращения, и если жидкость вращается с очень большой скоростью, то движения в ней вообще не будет. Если скорость уменьшить, то образуется указанная выше структура, а при еще меньшей скорости эта структура разрушается и возникает нерегулярный вихревой режим.



Все эти эффекты можно наблюдать, и не меняя скорость вращения, но изменяя температуру воды и ее глубину. При скорости вращения 33 об/мин и глубине 3–4 см для воды с температурой 25–35 градусов наблюдается вихревая решетка, для воды с температурой 50 градусов она начинает разрушаться, причем переход от регулярной структуры к нерегулярной происходит через взаимодействие отдельных пар вихрей. В этом случае вихри сплетаются, образуя двойную спираль (похожую на спираль ДНК), которая со временем сжимается в один вихрь (рис. 2).

Если вы научились получать вихревую решетку, то можно

перейти к более тонким экспериментам и рассмотреть этапы образования решетки. Вихри в системе образуются не сразу, а через некоторое время после начала вращения. Для наблюдения образования вихрей краситель надо посыпать на поверхность примерно через 1 минуту после старта. При хорошей центровке сосуда (т.е. ось сосуда должна совпадать с осью вращения)

в жидкости образуется промежуточная картина – конвективные кольца (рис. 3). Эти кольца образуются за счет действия двух механизмов – конвекции и неравномерности вращения жидкости, обусловленной тем, что не вся жидкость закрутилась сразу с одной скоростью. Холодная жидкость опускается вниз по кольцам, а теплая поднимается вверх между кольцами. За счет этого на кольцах возникает так называемая сдвиговая неустойчивость, т.е. неустойчивость, вызванная тем, что с одной стороны кольца жидкость движется в одну сторону, а с другой – в другую. Такой тип неустойчивости в природе наблюдается повсеместно: в океане, в атмосфере на границе встречных течений. Граница в этом случае постепенно разрушается. Так, в наших экспериментах на кольцах начинают образовываться вихри, которые потом выстраиваются в определенную структуру.

Отметим, что одним из определяющих параметров в системе является глубина жидкости. Если взять сосуд, в котором глубина в одном месте отличается от глубины в другом (поставить промежуточное дно в одной половине), то в разных частях банки возникают вихри с различными структурами и на границе раздела решеток также происходят интенсивные вихревые взаимодействия.

Теоретические исследования даже самых простых вихревых движений очень сложны. Эксперимент позволяет изучить основные простейшие «кирпичики», из которых складывается сложное движение. Так, взаимодействие «пыльных дьяволов» в пустынях происходит аналогично наблюдаемому в простейших экспериментах, т. е. по двойной спирали. Эти же эксперименты позволяют ответить на вопрос: когда вихри будут жить в мире друг с другом, а когда один поглотит другой, что постоянно наблюдается в атмосфере и легко видно на так называемых картах погоды.

