



тей, о некоторых из них рассказано в предыдущем очерке о неаккуратном фотографе. Одно из любопытных наблюдений, сделанных в этих опытах, заключалось в том, что некоторые капли не образовывали пятен, а просто оставались на стекле. Вначале их размер немного уменьшался, а затем они оставались неизменными. Стеклышко, на котором они находились, подогревали, а капли продолжали оставаться неизменными. Это происходило с каплями растворов сульфита в воде, в которых сульфита было много — более 10 %. Оказалось, что неиспаряющиеся капли покрыты панцирем из кристаллического сульфита. Под панцирем есть жидкость, но испаряться она не может: мешает панцирь.

Убедиться в том, что под панцирем жидкость, легко. На многих каплях панцирь тонкий и прозрачный, и, если немного потрясти стеклышко с каплей, можно увидеть, как под панцирем колыхается вода. А можно панцирь проколоть иголкой или раздавить его, и из-под панциря вытечет жидкость.

Естествен вопрос: как и почему высыхающая капля раствора покрывается панцирем? Происходит следующее. Испарение воды с поверхности капли приводит к тому, что в приповерхностном слое повышается концентрация растворенного вещества. Вначале кристаллики из пересыщенного раствора выпадут в самом тонком участке капли, вдоль ее периметра. Далее. Если бы избыточное вещество из приповерхностного слоя уходило в объем капли и неравномерность в распределении этого вещества сглаживалась, все могло бы происходить, например, так, как это описано в очерке о пятнах на столе в фотокомнате: капля исчезла бы, оставив после себя на стекле пятно, состоящее из совокупности колец. А вот когда концентрация растворенного вещества велика и испарение происходит быстро, избыточное вещество из приповерхностного слоя присоединяется к тем кристалликам, которые образовались вдоль периметра капли. Это приводит к росту кристаллов в область, где растворенное вещество в избытке, т. е. в приповерхностный слой, и на капле появляется кристаллический панцирь. В этом случае вещество, растворенное в капле, не остается в форме осадка на стекле, а образует своеобразный осадок — панцирь на поверхности капли.

Капля, или, точнее, жидкость под панцирем, может от панциря избавиться. Если температура окружающего пространства повысится, панцирь растворится в жидкости под ним и образуется



свободная капля раствора. В ней, однако, концентрация соли будет больше, чем в исходной капле: перед образованием панциря часть жидкости испарилась. При этой, более высокой, температуре все может повториться сначала: жидкость будет испаряться, и на капле образуется панцирь. На этот раз он должен быть потоньше, а жидкости под ним меньше, чем в капле под панцирем до поднятия температуры. А быть может, и вообще под панцирем дождет, если она успеет испариться до образования жидкости не будет, случается, панцирь — уже не панцирь, а просто осадок на стекле. Замена панциря осадком при какой-то температуре обязательно произойдет, и если наша цель — получить каплю с панцирем, надо высушивать ее при температуре более низкой, чем та, при которой на месте капли остается просто пятно.

А если каплю, покрытую панцирем, охлаждать, будет происходить иное: растворенное вещество из жидкости, оставшейся под панцирем, будет осаждаться на панцире. Панцирь утолстится, и жидкость под ним будет всегда. Можно добиться, чтобы под слоем кристаллического покрытия осталась чистейшая дистиллированная вода. Капля чистой воды, защитившаяся от высыхания!

С каплей, покрытой панцирем, никакие загадки не связаны: все ясно, объяснимо, предсказуемо. И все же, когда встречаешься с каплей, которая, как бы защищая себя от исчезновения, покрывается панцирем, невольно задумываешься над тем, как много неожиданных следствий могут обусловить абсолютно ясные причины.

3.6. КАПЛЯ МАСЛА НА ВОДЕ

Капля масла на поверхности воды. Что с ней произойдет? Ну, конечно, будет растекаться. Конечно, растечется и практически перестанет быть видимой. И почему растечется, понятно. Потому что понизится поверхностная энергия. И все же, несмотря на кажущуюся ясность явления, о нем стоит поговорить, поскольку на этом явлении основан один из выдающихся экспериментов атомной физики. Растекающаяся по воде капля масла помогла определить размер молекулы.

Когда лорд Рэлей (в начале XX в.) ставил опыты по растеканию капель масла на поверхности воды, о возможности непосредственно определить размер молекулы естествоиспытатели если и



мечтали, то очень робко: строили сложные последовательности косвенных соображений и умозаключений, которые должны были привести к оценке этого размера. Скованные традиционными приемами экспериментирования, мыслящие прямолинейно, довольствовались умозаключениями, а непредубежденный Рэлей поставил прямой опыт, простой и убедительный. Он рассуждал так (или примерно так): каждая молекула капли масла, расположенной на воде, будет пытаться коснуться воды. Молекуле масла это необходимо, так как один ее конец к воде относится безразлично, а другой, с иным химическим строением, имеет большое сродство к воде и поэтому обязательно постарается к ней прикоснуться. Капля как бы распадется на отдельные молекулы, которые, одним концом уткнувшись в воду, расположатся на ее поверхности частотомом. У молекул капли масла сродство друг к другу слабее, чем сродство к воде активного конца молекулы.

Если знать площадь поверхности воды S (это определить очень просто) и быть уверенным в том, что капля масла определенного объема V (и его определить просто) полностью «заселила» поверхность воды своими молекулами, которые расположены в один слой, то толщину этого слоя, т. е. длину молекул l , можно определить по простейшей формуле

$$l = \frac{V}{S}.$$

В последовательности этих рассуждений есть одно тонкое место. Как убедиться в том, что молекулы капли масла закрыли собой всю поверхность воды, нигде не оставив пяталка водной поверхности и нигде не образовав слоя более толстого, чем одномолекулярный? Лорд Рэлей сумел убедиться в этом удивительно простым способом. Зная, что частички камфоры на поверхности воды совершают активное, беспорядочное движение, а на поверхности масла спокойны, он поставил следующий опыт: в таз с водой капал капли оливкового масла разной массы, ждал пока они растекутся, а затем бросал туда немного пылцы камфоры. Пыльца переставала «плясать», когда масса капли достигала определенной величины m^* — необходимой и достаточной, чтобы одномолекулярным слоем закрыть всю поверхность воды. Если масса капли превышает эту величину, на поверхности воды образуются масляные пяталки, как на жирном бульоне.



То, что происходит при растекании капли масла по поверхности воды, удобно пояснить, воспользовавшись аналогией. Табун коней пьет воду из длинного желоба. Если число коней таково, что они умещаются вдоль желоба, у воды образуется один ряд (слой) коней, и каждый из них стоит перпендикулярно желобу. Если коней в табуне больше, часть их будет стоять в стороне, представляя собой аналог жирных пяталчков на бульоне. (Эту аналогию придумал американский физик Эрик Роджерс. Только у него не кони у желоба с водой, а свиньи у кормушки; мне же кони нравятся больше, чем свиньи.)

Рэлей заполнял водой таз радиусом $R = 41$ см, т. е. площадью $S = 5,27 \cdot 10^3$ см². В его опытах с каплями оливкового масла величина $m^* = 8 \cdot 10^{-4}$ г, т. е. объем капли

$$V = \frac{m^*}{\rho} = 8,88 \cdot 10^{-4} \text{ см}^3,$$

где $\rho = 0,9$ г/см³ — удельный вес масла. Теперь легко определить длину молекулы оливкового масла:

$$l = \frac{m^*}{\pi R^2 \rho} \approx 1,7 \cdot 10^{-7} \text{ см}.$$

На расстоянии 1 см можно расположить цепочкой 6 млн таких молекул (рис. 3.7).

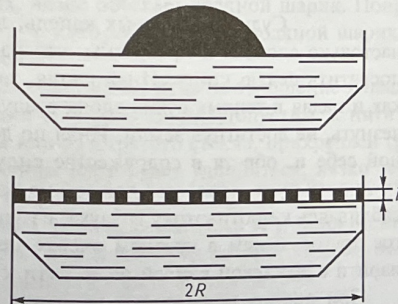


Рис. 3.7. Схема растекания капли масла на воде с образованием одномолекулярного слоя

Каждый физик-экспериментатор, думая об опыте Рэрея, должен испытывать чувство зависти. Разумеется, белой.