



Разговоры физиков за бокалом вина

А.РИГАМОНТИ, А.ВАРЛАМОВ, А.БУЗДИН

ПУЗЫРЬКИ И ОБРАЗОВАНИЕ ПЕНЫ. СЕКРЕТ «шумного» способа открывания бутылки шампанского прост – для получения обильной пены достаточно сильно потрясти бутылку перед открыванием. В результате то небольшое количество газа, которое всегда имеется в горлышке, смешивается с шампанским, образуя множество пузырьков. Когда же пробка вылетает, то давление в бутылке резко падает и образованные ранее пузырьки служат центрами выделения растворенного в жидкости углекислого газа по всему ее объему.

Пузырьки шампанского могут развлекать не только зрителей автомобильных гонок. Так студенты-физики удивляют девушек с филологического факультета, сидя за бокалом шампанского (или минеральной воды) и бросая в него кусочек шоколада. Читатель может сам убедиться на практике, что сначала шоколад утонет, затем через некоторое время всплывет, потом снова утонет, и так будет «осциллировать» несколько раз. Оставим объяснение этого нехитрого фокуса читателю, а сами перейдем к обсуждению других, менее очевидных свойств пузырьков шампанского.

Говоря о шампанском, физик не может обойти молчанием его необычные акустические свойства. Здесь мы остановимся на одном из таких свойств – своеобразном шипении пузырьков, лопающихся на поверхности шампанского. Понятно, что «колючий» звук лопающихся на пенной поверхности только что налитого в бокал свежего шампанского пузырьков связан с возникновением в пене своеобразных миниатюрных лавин. Шипящий звук является суммой многих спонтанных взрывов отдельных пузырьков. Совсем недавно бельгийский физик Вандервал с коллегами детально изучил специфику этих микровзрывов. Если бы число взрывов в секунду было фиксированным, то мы слышали бы постоянный свист – как от ненастроенного радиоприемника. Такой «белый шум» возникает в акустических процессах в случае, если частота звука меняется хаотично, в то время как амплитуда сигнала остается постоянной. Исследования же ученых показали, что акустический спектр звука лопающихся пузырьков шампанского не имеет ничего общего с белым шумом. Измерение с помощью чувствительного микрофона зафиксировало, что интенсивность сигнала существенно зависит от частоты, и эта зависимость возникает именно благодаря тому, что пузырьки лопаются не

каждый сам по себе, а коллективно, влияя один на другой. Каждый пузырек лопается за время порядка $1/1000$ секунды. Когда такие микровзрывы происходят в быстрой последовательности один за другим, их шум сливается в единый достаточно громкий звуковой сигнал. Когда же пузырьки лопаются сами по себе, их едва слышно.

Почему шампанское пузырится? Растворимость газов в воде (вине) быстро растет с ростом давления. Поэтому в бутылке шампанского, находящегося под высоким давлением, растворено много углекислого газа, который образовался при ферментации вина. Когда бутылку открывают, давление резко падает, а с ним падает и растворимость газа, который и выходит в виде многочисленных пузырьков.

Забавный случай связан с этим явлением. При вводе в эксплуатацию одной из глубоких шахт комиссия отметила это событие распитием на дне шахты бутылки шампанского. Затем члены комиссии быстро поднялись на поверхность на лифте и... сразу же схватились за животы. А объяснялось это очень просто. Давление на глубине шахты было больше давления на поверхности, и растворенный в шампанском газ, который не выходил из него на глубине, на поверхности стал быстро выделяться.

Характерно, что пена сходит по мере того, как жидкость в стенках пузырьков стекает вниз под действием силы тяжести, делая их слишком тонкими для выживания пузырька. Исследователи изучали этот процесс не на шампанском (чья пена лопается слишком быстро), а на знакомой всем мыльной воде, где пена рассасывается медленно, с характерным временем около часа. На таком удобном объекте они изучили зависимость длительности интервалов между последовательными разрывами пузырьков от времени и обнаружили, что эта зависимость имеет степенной характер. Это означает, что не существует характерной длительности такого интервала: время между обсуждаемыми событиями может оказаться любым – от миллисекунд до нескольких секунд, и нет способа предсказать, какой именно длительности окажется интервал при данном измерении.

Подобные степенные законы наблюдаются во многих природных явлениях, таких как землетрясения (которые не имеют выделенной амплитуды), сели или солнечные вспышки. Они обычно имеют место в системах, в которых взаимодействия между отдельными элементами играют важную роль в поведении системы как

целого. Так, на лавиноопасном склоне сорвавшийся камешек может как вызвать страшное несчастье, так и просто скатиться вниз.

Физика и пастис

На юге Франции, где часто стоит жаркая погода, распространен алкогольный напиток пастис. Пьют его так: в стакан наливается немного пастиса, а затем его доливают доверху холодной водой. Пастис и вода прозрачны, но их смесь сразу же становится непрозрачной – на вид белой. В чем же тут дело? Пастис представляет собой раствор этилового спирта (45%) в воде (55%), куда добавлено чуть-чуть анетола, примерно 2 грамма на литр. Анетол – это ароматическая молекула, которая еще с античных времен была важной составной частью разных лекарств и парфюмерных изделий. Получают анетол экстракцией из семян аниса. Анетол представляет собой желтоватую и сильно пахучую жидкость. Он очень хорошо растворяется в спирте и исключительно плохо в воде: молекулы воды сильно притягиваются друг к другу и очень слабо – к молекулам анетола. Молекулы воды и анетола в результате образуют несмешивающиеся фазы. Напротив, молекулы спирта так же хорошо притягиваются друг к другу, как и к молекулам анетола. Поэтому анетол хорошо растворяется в спирте. В бутылке пастиса концентрация спирта достаточно высока, чтобы молекулы анетола были растворены. Когда в пастис добавляют воду, спирт образует менее концентрированный раствор с водой, и молекулы анетола собираются в маленькие капельки. Именно присутствие этих мельчайших капелек делает напиток непрозрачным – он представляет собой эмульсию.

Хорошо знакомые примеры эмульсий это молоко, крем, майонез. Цвет в этом случае определяется рассеянием света на частицах, размер которых сравним с длиной волны световых волн (закон Бэра). Но каков же размер микрокапелек анетола в пастисе, готовом к употреблению? Чтобы ответить на этот вопрос, физики из Гренобля использовали методику рассеяния нейтронов на малые углы. В результате удалось узнать, что размер этих капелек в свежеприготовленной эмульсии оказывается действительно около половины микрона. Со временем их размер растет – на 50 процентов в течение суток. Если же оставить эмульсию в покое на несколько дней, то все капельки анетола соберутся в одну большую – произойдет полное разделение фаз. Но кто же будет ждать так долго, если на улице сильная жара...

Хлебное вино – водка

Чем ближе к северу, тем хуже растет виноград, и место вина занимают напитки, изготовленные путем дисцилляции яблок (кальвадос – северная Франция), слив и абрикосов (сливовица – Болгария, Чехия) и, наконец, того или иного сорта зерна (виски – Англия, водка – Россия). В старое время водка в России так и называлась – хлебное вино № 21 (Смирновъ), да и даже сегодня потребляется она за столом в той же манере, в которой французы и итальянцы пьют вино-

градное вино. Однако задумывались ли вы, почему все перечисленные напитки, будучи с химической точки зрения растворами полученного дистилляцией спирта в воде, имеют процентное содержание алкоголя (этилового спирта) около 40%?

В качестве первой причины приведем легенду, имеющую физическую основу. Говорят, что когда Петр I ввел монополию на производство водки и, тем самым, возложил ответственность за ее качество на государство, корчмари стали эту водку безбожно разбавлять. Таким образом они увеличивали свои доходы, одновременно вызывая справедливое недовольство посетителей низким качеством любимого напитка. Чтобы пресечь возможность этого злоупотребления, Петр I издал указ, позволяющий посетителям питейного заведения бить кабатчика до смерти, если подаваемая им водка не горит. Оказалось, что сорокапроцентное содержание спирта в растворе с водой есть тот нижний предел, при котором его пары над поверхностью жидкости еще могут гореть при комнатной температуре. Естественно, на этой нижней границе содержания спирта в водке и остановились кабатчики, найдя таким образом компромисс между погоней за наживой и жизнью.

Другая причина устойчивости «магического числа» связана со следующим обстоятельством. Хорошо известно явление объемного расширения: оно заключается в том, что при увеличении температуры объем тел возрастает, а при охлаждении, соответственно, уменьшается. Этому закону подчиняется большинство веществ, в том числе и спирт. Вода же является жидкостью аномальной: ниже 4 °С она с падением температуры начинает расширяться, а при замерзании ее удельный объем вообще скачком возрастает на 10%! Вот почему, например, нельзя оставлять на морозе бутылки с водой: замерзшая и увеличившая свой удельный объем вода их просто разрывает. А с водкой можно: в Сибири часто ящики с этим напитком оставляют на морозе, и ничего с бутылками не случается. Объяснение этого явления состоит из двух частей. Во-первых, наличие столь заметного количества спирта в воде препятствует ее кристаллизации, так что при понижении температуры не происходит внезапного скачка ее удельного объема. Во-вторых, при соотношении объемов 4:6 суммарный коэффициент объемного расширения оказывается близким к нулю: «аномальность» воды компенсируется «нормальностью» спирта. Достаточно взглянуть в таблицы физических величин и сравнить соответствующие коэффициенты объемного расширения чистых веществ:

$$\alpha_1 = -0,7 \cdot 10^{-3} \text{ град}^{-1} \text{ для воды,}$$

$$\alpha_2 = 10^{-3} \text{ град}^{-1} \text{ для спирта.}$$

Есть и третья причина заветной крепости в 40%, открытие которой приписывают великому русскому химику Д. Менделееву. Утверждается, что именно он указал на тот факт, что 40-процентная водка не изменяет своей крепости, будучи оставленной с открытой поверхностью. Таким образом, рюмка водки, забытая на столе вечером, останется заполненной тем же напит-

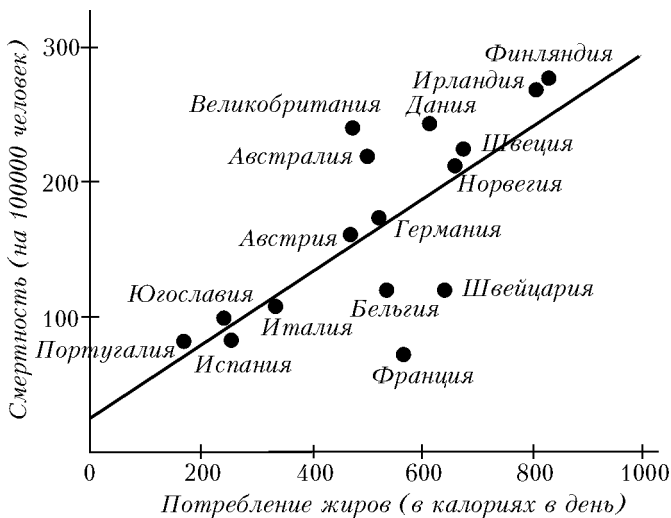
ком и на следующее утро (чего нельзя сказать о вине или шампанском) и, возможно, послужит лекарством страдающему головной болью юбиляру.

Четвертая причина 40-процентной крепости водки связана со скачком в вязкости раствора спирта в воде вблизи этой концентрации – в слабом растворе молекулы спирта двигаются сами по себе, в то время как при 40% начинается их полимеризация. Молекулы спирта выстраиваются в длинные одномерные цепочки, вязкость падает, и водка меняет к лучшему свои органолептические свойства (как говорят любители этого напитка, «сама втекает в горло»).

Пятая и последняя из известных авторам причин связана скорее с процедурой контроля стандарта качества напитка. Дело в том, что если в спиртоводный раствор бросить кусочек сала, то он окажется в положении безразличного равновесия именно при 40% спирта. В более крепком напитке он утонет, в более слабом – всплывет.

Роль вина в профилактике сердечно-сосудистых заболеваний: французский парадокс

На рисунке в схематической форме представлены данные по смертности от сердечно-сосудистых заболеваний (на сто тысяч человек) для различных стран мира в зависимости от среднего потребления населени-



ем жиров животного происхождения (в калориях в день). Зависимость очевидна: с увеличением потребления жиров (холестерина) практически линейно возрастает смертность от сердечно-сосудистых заболеваний. Однако на графике имеется одна, выпадающая из общей зависимости, точка, соответствующая положению дел во Франции: здесь потребляют заметное количество жиров, но, тем не менее, смертность от сердечно-сосудистых заболеваний относительно низка. Действительно, как видно из графика, французы едят жирной пищи больше, чем англичане, а вот от инфарктов умирают почти в четыре раза меньше.

Приведенные официальные данные были получены в рамках проекта MONICA Всемирной организации здравоохранения и были опубликованы в 1992 году. Однако, по-видимому, еще раньше с ними ознакомился

ведущий одного из американских телеканалов, который уже в 1991 году обнародовал их под громким названием «французского парадокса», ставшего впоследствии известным также под названием «эффекта Бордо». Практически с момента открытия эта аномалия была приписана регулярному потреблению французами заметного количества красного вина, особенно характерному для провинции Бордо. Последующие научные исследования в других зонах производства красного вина позволили сделать однозначный вывод: потребление красного вина приводит к заметному снижению риска сердечно-сосудистых заболеваний. По какой причине? На этот вопрос дать ответ было не так-то просто.

Дело в том, что красное вино содержит в себе около 2000 различных веществ: разнообразные кислоты, фенолы, ваниль и следы почти всех известных минералов. Особый интерес у ученых вызвали полифенолы (содержащиеся в красном вине в количестве около 1 г на литр) и флавоноиды (присутствующий в виноградной кожуре). В флавоноиде в частности был обнаружен трансрезерватрол, который имеет сильное противокислительное действие и противодействует старению клеток мозга. Дальнейшие исследования показали, что полифенолы оказывают влияние на липопротеины, уменьшают влияние главного виновника сердечно-сосудистых заболеваний эндотелина-1, предотвращают формирование «бляшек» на стенках сосудов. Но не будем углубляться в медицинские дебри. Попробуем, пользуясь методами обработки физического эксперимента, оценить приносящее пользу для здоровья дневное потребление красного вина.

На основании приведенных выше данных можно предположить, что вероятность сердечно-сосудистых заболеваний убывает с потреблением красного вина по часто встречающемуся в природе экспоненциальному закону:

$$I = I_0 e^{-\frac{b}{b_i}}$$

Здесь I_0 – вероятность заболевания для непьющего вино человека, а b_i – норма ежедневного потребления вина в исследуемой области: во Франции эта величина составляет пару стаканов красного вина в день.

Однако понятно, что увлекаться винной профилактикой инфаркта не следует: потребление алкоголя в заметных количествах приводит к тяжелым недугам, например таким, как цирроз печени. О нем проще судить по потреблению водки: понятно, что те же два стакана в день, но не вина, а водки, пагубно скажутся на здоровье и заметно (в разы) увеличат вероятность цирроза печени по сравнению с непьющим человеком. Соответствующий фактор риска мы вновь промоделируем характерной для природных процессов экспоненциальной функцией, однако, в противоположность уже приведенной, – растущей:

$$C = C_0 e^{\frac{b}{b_c}}$$

Здесь C_0 – вероятность возникновения цирроза у непьющего человека, а за константу b_c мы примем два

стакана водки, что в простом пересчете по содержанию спирта эквивалентно шести стаканам вина в день.

(Заметим, что столь большое дневное потребление вина не является совершенной фантазией. Например, в замке города Гейдельберг (Германия) до сих пор сохранилась самая большая бочка в мире, из которой с помощью специальной системы ручных насосов вино подавалось в большой обеденный зал. Среднее потребление вина на обитателя замка, включая детей, стариков и вольных, составляло 2 литра в день. Придворный шут, карлик Перкей, регулярно выпивал двенадцать бутылок в день. При этом умер он не от цирроза, а от дизентерии, которой заразился, выпив, из-за проигранного спора, стакан плохо очищенной воды.)

Сложим вероятности обоих заболеваний:

$$W = I_0 e^{-\frac{b}{b_i}} + C_0 e^{-\frac{b}{b_c}}.$$

Очевидно, что оптимум винопития реализуется при минимуме суммарной вероятности учитываемых заболеваний. Вычисляя и приравнивая к нулю производную:

$$\frac{dW}{db} = -\frac{b}{b_i} I_0 e^{-\frac{b}{b_i}} + \frac{b}{b_c} C_0 e^{-\frac{b}{b_c}} = 0,$$

находим, что соответствующее количество вина определяется выражением

$$b^* = \frac{b_i b_c}{b_i + b_c} \left(\ln \frac{b_c}{b_i} + \ln \frac{I_0}{C_0} \right),$$

или

$$\frac{b^*}{b_i} = 0,75 \left(1,1 + \ln \frac{I_0}{C_0} \right).$$

Предполагая вероятности цирроза и инфаркта для непьющего человека одинаковыми (авторы не нашли точных данных), видим, что оптимальным количеством дневного потребления является 1,5 стакана, или около трехсот граммов красного вина в день. Это и есть то количество, которое обычно выпивают, например, крестьяне в Тоскане за обедом и ужином.

Определение качества и происхождения вина: метод SNIF-ЯМР

Говоря о пользе разумного потребления натурального красного вина с определенными свойствами, необходимо быть уверенным в том, что его происхождение соответствует написанному на этикетке. Современная физика предлагает метод точнейшего контроля происхождения вина, основанный на применении явления ядерного магнитного резонанса. Этот метод называется методом определения специфического природного изотопического состава вина, английская аббревиатура – SNIF, от Specific Natural Isotope Fraction. Явление ядерного магнитного резонанса (ЯМР) состоит в следующем.

Ядра, например протоны в случае атомов водорода, подобно стрелке компаса, обладают некоторым весьма малым магнитным моментом. Будучи помещенными в однородное магнитное поле, эти магнитные мо-

менты прецессируют (медленно вращаются) вокруг направления поля с пропорциональной величине этого поля частотой Ω . Приложим теперь малое переменное поле с частотой радиодиапазона в направлении, перпендикулярном основному полю. Так как магнитные моменты в принципе могут разворачиваться против направления постоянного магнитного поля, то, когда частота ω радиосигнала оказывается близкой к Ω (вот откуда происходит термин «резонанс»), его энергия начинает эффективно поглощаться. Следует иметь в виду, что ЯМР является сложным квантовым эффектом, однако приведенное грубое классическое описание в основном отражает его суть. В рассматриваемом случае для нас важно, что посредством электронной аппаратуры оказывается возможным измерить с огромной точностью величину резонансного магнитного поля, определяющего «линию ЯМР» в спектре поглощения. Эта величина соответствует значению локального магнитного поля на ядре, являющегося суммой внешнего поля и малых магнитных полей, индуцируемых электронными токами. Понятно, что резонансные линии могут соответствовать различным частотам электромагнитного излучения – в зависимости от специфики электронного окружения выбранного ядра. Резонансный спектр, таким образом, становится в некотором смысле «фотографией» конфигурации молекулы.

С помощью метода SNIF-ЯМР сегодня можно различать спирты одной и той же химической структуры, но различного ботанического происхождения. Оказывается возможным сказать, действительно ли данное вино было получено в результате брожения винограда с конкретного виноградника из определенной области. Метод основывается на том факте, что в виду различных процессов фотосинтеза и метаболизма растения, географических и климатических условий, содержание дейтерия по отношению к водороду измеримо варьируется от провинции к провинции, от виноградника к винограднику, от растения к растению. Дело в том, что обычная формула этилового спирта $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ не отражает все возможные его вариации. В зависимости от содержания дейтерия в данной местности или в результате конкретного процесса метаболизма спирты, содержащиеся в вине, могут описываться также и формулами $\text{CH}_2\text{D}-\text{CH}_2-\text{OH}$, $\text{CH}_3-\text{CDH}-\text{OH}$, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OD}$. Отношение D/H для каждой такой индивидуальной группы может быть получено в результате анализа спектра ЯМР на ядрах дейтерия. На основании таких измерений созданы базы данных по географической принадлежности вина, по ним можно узнать, добавлялся ли при его изготовлении сахар, использовались ли для его ароматизации вина других регионов и многое другое.