

Пахучие вещества жасмина. Kensaku Mori & Yoshihiro Yoshihara /Progress in Neurobiology, 1994

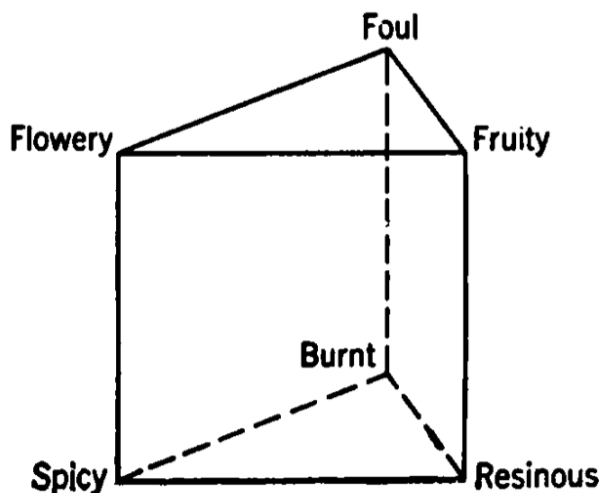
В серии экспериментов 144 участника разложили запахи 150 химических молекул на 147 компонент — получилась **база данных**, в которой каждой молекуле соответствует набор дескрипторов с весом от 0 до 5. Каталог с заведомо избыточным числом дескрипторов ученые собрали, чтобы на основе него структурировать обонятельное пространство: вычленив самое важное, отсечь лишнее и получить набор «атомарных запахов».

Аналогичные каталоги потом собирали и другие ученые, расширив список веществ (например, **список Sigma-Aldrich** включает уже больше тысячи), число опрошенных участников и количество дескрипторов. Можно ли иначе подступиться к обонянию — непонятно.

**Обоняние** не похоже на другие чувства. В отличие от цветов или звуков, для запахов нет ни стандартного словаря, ни стандартных параметров, подходящих хотя бы для пахучих веществ, которые активируют наши обонятельные рецепторы.

Одну из первых известных попыток классифицировать элементарные запахи совершил психолог Ганс Геннинг, который в 1915 году **выделил** шесть базовых запахов: цветочный, гнилостный, фруктовый, пряный, смолистый и запах гари. Он расположил их по вершинам треугольной призмы. У каждого запаха было три похожих на него соседа и два оппонента, на которые он совсем не похож. Все остальные запахи, считал Геннинг, результат смешения этих шести.

Через полвека автор стереохимической теории обоняния Джон Амур **выделил** уже семь фундаментальных запахов. Он разделил их не просто по своему разумению, а по форме активных центров рецепторов в человеческом носу или распределению в них заряженных групп. Так ученый получил пять «формальных» запахов: цветочный, мускусный, эфирный, камфорный и мятный, а восприятия резкого и гнилостного запаха отнес к «зарядовым».



Призма базовых запахов Ганса Геннинга. Susan S. Schiffman / Annals of the New York Academy of Sciences, 1974

## Порядок чувств

К описанию цвета язык приспособивался долго, но в итоге справился: когда мы слышим слово «желтый», «красный» или «сиреневый» на любом известном нам языке,



то довольно четко представляем, какой именно цвет имеется в виду. Полвека назад **лингвисты** даже нашли последовательность, в которой имена цветов появились практически во всех языках.

Согласно **теории основных цветов** Берлина и Кэя, первыми в любом языке должны возникать слова для обозначения белого и черного. На второй стадии в языке появляется красный, потом зеленый или желтый, потом коричневый. Затем в разном порядке — розовый, серый, фиолетовый и оранжевый. Хотя эта теория опирается на данные о множестве языков разных семей, она продолжает вызывать **возражения** у лингвистов, особенно сторонников гипотезы лингвистической относительности Сепира — Уорфа.

Первый шаг к расшифровке цветного зрения сделали натуралисты Нового времени, когда занялись составлением «цветовых таблиц». Вооруженные строгим словарем для описания цветов, **натуралисты** смогли перейти к наивной систематизации.

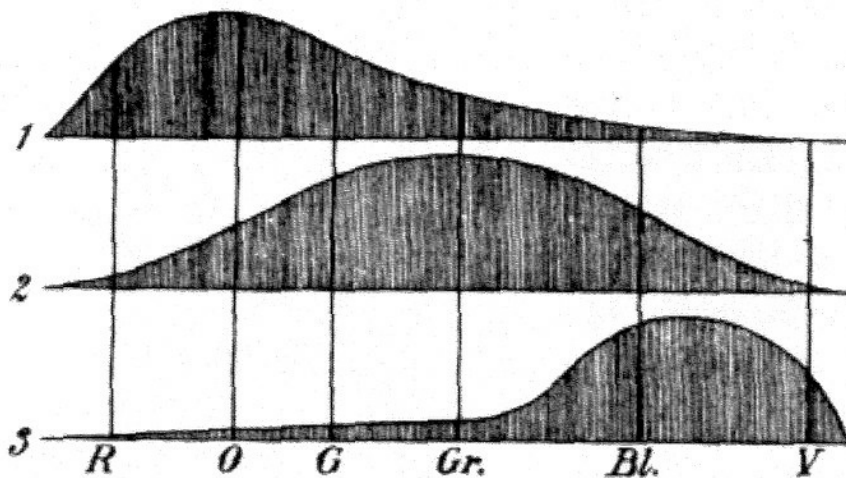
О том, что первичных цветов три, впервые **заговорил** английский натуралист и иллюстратор Ричард Валлер еще в 1686 году. Он собрал таблицу цветов и снабдил их краткими словесными описаниями, в которых в первую очередь указывался состав красителя и способы его получения. Валлер разделил все цвета на три группы: синие, желтые и красные.



Таблица цветов Ричарда Валлера. В верхней части таблицы «синие» цвета, в середине — «желтые», снизу — «красные». Чистые цвета — в верхней строке для синих и в левом столбце — для желтых и красных. Остальные — смешанные. Richard Waller / Philosophical Transactions, 1686 / The New York Public Library

До полноценной теории эту идею развили уже в XIX веке: сформулировал ее Томас Юнг, доработал Гельмгольц, а затем Максвелл **показал**, как можно математически представить цвета в виде линейной комбинации трех компонент. Экспериментальное доказательство концепция получила в середине XX века, в частности, в работах финско-венесуэльского физиолога Гуннара Светихина, которые подтвердили, что на первой стадии восприятия нейроны действительно разделяют зрительный стимул на три компонента. В зависимости от длины на свет реагируют три типа колбочек:

- $\beta$  (отвечает за синий цвет, с максимумом поглощения в районе 440 нанометров),
- $\gamma$  (зеленый цвет, максимум около 540 нанометров),
- $\rho$  (красный цвет, 570 нанометров).



||

Спектры поглощения фоторецепторов разного типа по Гельмгольцу. Hermann von Helmholtz / Gesammelte Schriften III, 2003

До устройства рецепторов ученые добрались еще через тридцать лет, в 80-е годы. В результате, во-первых, стало понятно, как человек воспринимает немонахроматические цвета (например, розовый или коричневый). А во-вторых, мы получили способ эффективно кодировать цвета — схема RGB во многом повторяет

принцип работы зрительной системы.

Вкратце его можно описать так: все три типа фоторецепторов улавливают электромагнитные волны оптического спектра. Потом состояние рецепторов по трем каналам передается в головной мозг, а тот уже, суммируя эти три сигнала, раскрашивает наблюдаемый нами мир. Канал в данном случае — не морфологическое понятие, а информационное. В терминах восприятия каждый такой информационный канал можно назвать перцептом. Таким образом, на каждый тип фоторецепторов приходится по одному перцепту. Три типа клеток, три перцепта, три измерения цветового пространства.

Обоняние, судя по всему, устроено сложнее. И хотя мы уже знаем, как устроены пахучие молекулы и организован обонятельный мозг, про обонятельные перцепты мы пока понимаем довольно мало — ни что они из себя представляют, ни, тем более, сколько их. Чтобы структурировать обоняние по аналогии с восприятием цвета, нужно упорядочить: слова для описания запахов, молекулярные структуры и нейрофизиологические данные — и затем найти правила, которые управляют связями между тремя этими доменами.

При этом сложности возникают на обоих концах этой цепочки. Непонятно, как упорядочить огромное число дискретных стимулов — пахучих молекул и их смесей. В отличие от электромагнитных и акустических волн, которые очень понятно ранжируются по длине, молекулярные кусочки вещества нельзя так просто взять и выстроить вдоль единой непрерывной шкалы. Неясно, как быть с формализацией обонятельных образов, для которых в языке до сих пор нет универсального словаря. Поэтому и списки словесных характеристик в опросах такие длинные и разные в каждом исследовании.

Интересно, что со вкусом — ближайшим родственником обоняния — таких проблем человек избежал. У вкуса есть понятный короткий словарь, есть и понимание того, как устроены и кодируются стимулы. Консенсуса по вопросу размерности вкусового пространства у ученых все еще нет, типы рецепторов строго пока не исчислены, но все сходится во мнении, что независимых каналов передачи данных о вкусе в мозг пять или шесть, а, следовательно, базовых вкусов также может быть пять или шесть.

Споры о количестве вкусов вызваны как раз обонянием. Значительная доля того, что человек воспринимает как вкус, — на самом деле не то, что воспринимают вкусовые рецепторы на языке. По **разным оценкам**, не всегда подтвержденным научно, от 75 до 95 процентов вкуса — это запах, который попадает на обонятельные рецепторы через носоглотку.

## Образ креозота

За восприятие запахов отвечают обонятельные **нейроны**, дендриты которых выходят на поверхность обонятельного эпителия в носу. Сколько разных обонятельных рецепторов у человека — до сих пор точно неизвестно. Но их не два, не три, не пять и даже не десять. В геноме человека **нашли** 339 последовательностей, похожих на гены обонятельных рецепторов. А значит, размерность обонятельного пространства не может быть больше этого числа. И это если исключить возможные временные измерения, ведь интервалы между сигналами от рецепторов тоже могут быть важны.

Но бывает и так, что измерений у обоняния меньше, чем типов обонятельных нейронов. Например, у кишечной палочки целых **пять типов рецепторов** для химической чувствительности — эволюционного предка обоняния, — но вся полученная от них информация сливается в единый канал, в результате чего пространство обонятельных феноменов (или, как минимум, пространство принятых по запаху решений) становится одномерным.

Бактерия чует градиент концентрации питательных веществ и токсинов вокруг и ползет поближе к еде и подальше от опасности. Хотя куда именно она плывет: к сахару, пептиду или в область с повышенным содержанием кислорода разобрать, судя по всему, не может. Из-за несовершенства такого «монохромного» (тут, конечно, лучше сказать «моноосмического») обоняния бактерия **не всегда успевает** своевременно реагировать на изменение градиента концентраций и вместо того, чтобы двигаться туда, где нужного вещества стало много, начинает кувыряться на месте.

«Мы не знаем, работают ли [обонятельные] рецепторы [человека] независимо друг от друга, — объясняет N + 1 нейробиолог Вальтер Баст из лаборатории Колд-Спринг-Харбор. — Это возможно, но маловероятно». Белковые части рецепторов довольно гибки, поэтому к одному рецептору могут пристыковаться различные функциональные группы, а одну и ту же молекулу могут почувствовать разные рецепторы.

К резкому изменению запаха молекулы могут привести совсем незначительные изменения в ее структуре. Например, у карвона запах принципиально **отличается** даже для разных стереоизомеров: D-карвон пахнет тмином, а L-карвон — мятой.

Даже одно и то же вещество может пахнуть по-разному для разных людей. Например, наличие у человека нескольких вариантов обонятельного рецептора, который улавливает андростенон, **приводит** к тому, что это соединение для одних людей пахнет потом и мочой, для вторых — цветами, а третьи вообще не чувствуют его запаха.

«Можно представить сценарий, в котором рецепторы не будут работать независимо, — продолжает ученый. — Допустим, организм в течение жизни находится в ограниченной среде и подвергается воздействию небольшого количества пахучих веществ. В этом случае вероятна ситуация, когда каждая из молекул, присутствующая в этой среде, будет всегда активировать два [типа] рецептора пропорционально. Тогда они будут отвечать за одно-единственное измерение. Ведь если вы знаете, насколько сильно эта конкретная молекула активирует один из рецепторов, то вы автоматически будете знать, насколько сильно она активирует второй. Поэтому число



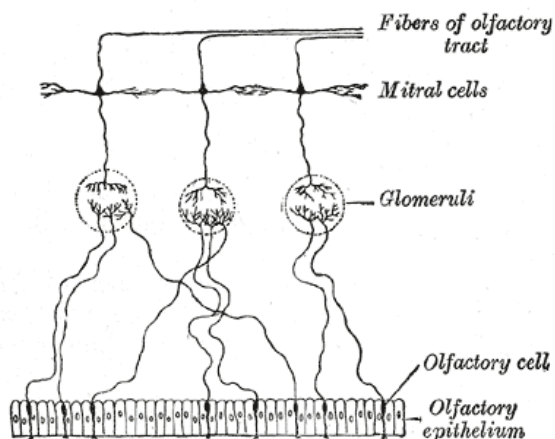
НОВИНИ ПАРТНЕРІВ

РЕКЛАМА

[типов] рецепторов совершенно необязательно совпадает с числом измерений [пространства обоняния]».

Например, смесь веществ, которая пахнет креозотом, действует на рецепторы нескольких типов: но на какие-то сильнее, на какие-то слабее, а на оставшиеся — не действует вообще. То есть активирует разное число нейронов от рецепторов разных типов. Так складывается определенная картина активности нейронов, «нейрообраз» запаха. С этой точки зрения число независимых переменных, с помощью которых мы можем описать разницу между любыми двумя запахами, и есть количество каналов кодирования стимула — а это число соответствует размерности обонятельного пространства.

Шифрование сигнала, полученного обонятельными нейронами, происходит на уровне обонятельной луковицы. Сюда он приходит по аксонам первых обонятельных нейронов и через клубочки обонятельной луковицы передается дальше, на митральные и пучковые нейроны. После этого сигнал по обонятельному тракту идет в том числе к миндалевидному телу, орбитофронтальной коре и гиппокампу.

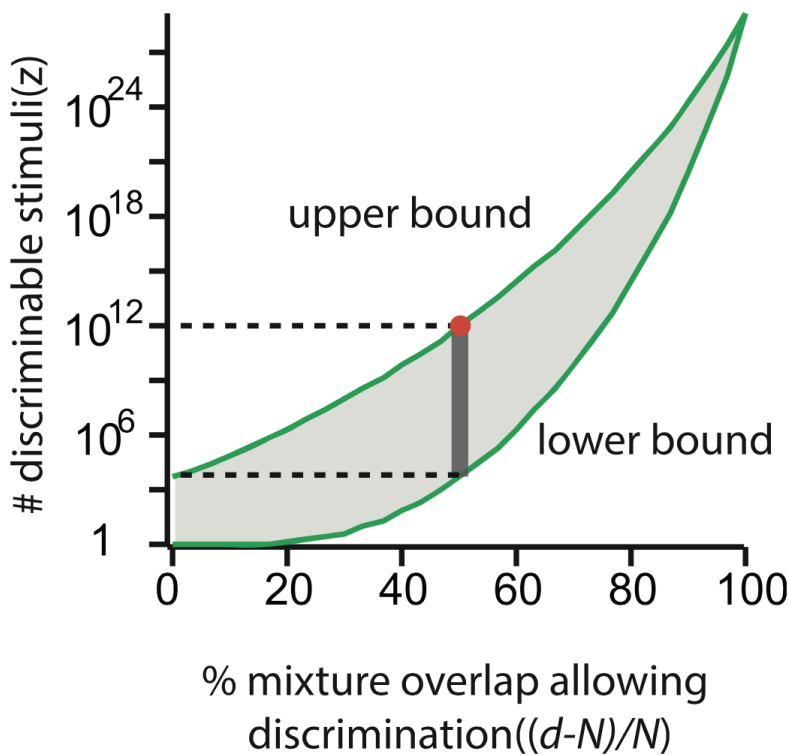


Дендриты обонятельных нейронов с рецепторами выходят на поверхность обонятельного эпителия. Их аксоны идут в клубочки (гломерулы) обонятельной луковицы, где передают сигнал пучковым и митральным нейронам, от которых по обонятельному тракту он идет дальше в зоны первичной проекции. Henry Vandyke Carter & Henry Gray / Anatomy of the Human Body, 1918

В этой сложной архитектуре очень трудно найти, где именно тут перцепт — и понять, из чего он складывается. «Мне кажется, что наиболее удачное определение для обонятельного перцепта предложил Маркус Майстер, — говорит Баст. — В **своей работе** он определил его как внутреннее состояние сенсорной системы на той стадии, где принимается решение о различии или сходстве [двух] поступающих стимулов. На определенном этапе превращения молекулы в нервный сигнал вы [уже] можете сказать: это роза, а это кофе. И вот это состояние нейронов, в котором человек определяет запах и может отличить один от другого — это и будет перцепт».

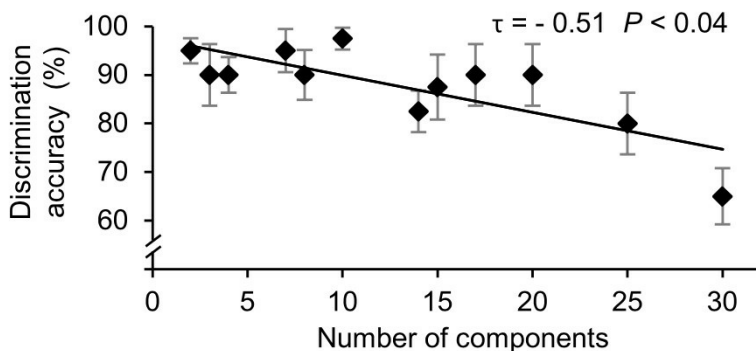
Попытки ограничить число измерений по количеству стимулов тоже не спасают. По **оценкам**, человек может по запаху отличить как минимум несколько сотен отдельных молекул. При этом молекулы, которые человек может ощутить, вероятно, **ограничены** по молекулярной массе. У подавляющего большинства соединений, которые придают запах еде, молекулярная масса составляет в среднем от 135 до 155, максимальная из известных — около 310.

В итоге количество смесей из этих веществ, которые может учуять человек, получается огромным. Некоторые исследователи **утверждают**, что существует до триллиона различных обонятельных образов. Им могут соответствовать как отдельные молекулы, так и смеси, которые включают в себя до тридцати пахучих веществ. Это экстраполяционная оценка, и, возможно, завышенная, но в любом случае число воспринимаемых запахов должно быть огромно. Человеческий глаз различает около миллиона смесей базовых цветов, что на шесть порядков меньше. Значит, для кодирования запахов используется явно больше трех измерений.



Оценки верхней и нижней границ для числа различимых обонятельных стимулов для смесей с разным числом компонентов  $N$  в зависимости от  $d$  — числа уникальных компонентов в смеси, которые можно достоверно отличить от остальных. С. Bushdid et al./ Science, 2014

А вот если в нескольких смесях слишком много компонентов, то различить между собой их становится тяжело. Ученые **заметили**, что смесь большого числа разных запахов, как и смесь близких друг другу цветов или звуков превращается в неразборчивую для наших чувств кашу — белый шум. В смеси из примерно 30 компонентов испытуемым становится сложно отличить отдельные запахи, даже если сами вещества не похожи друг на друга химически. Количество запахов, которые нужны для «переполнения» нашего нюха, — вероятно, более честная оценка предела размерности обоняния, чем число рецепторов.



Точность, с которой удавалось отличить друг от друга две смеси разных веществ в зависимости от количества компонентов в каждой. Tali Weiss et al./ Proceedings of the National Academy of Sciences, 2012

## Калибр цитруса

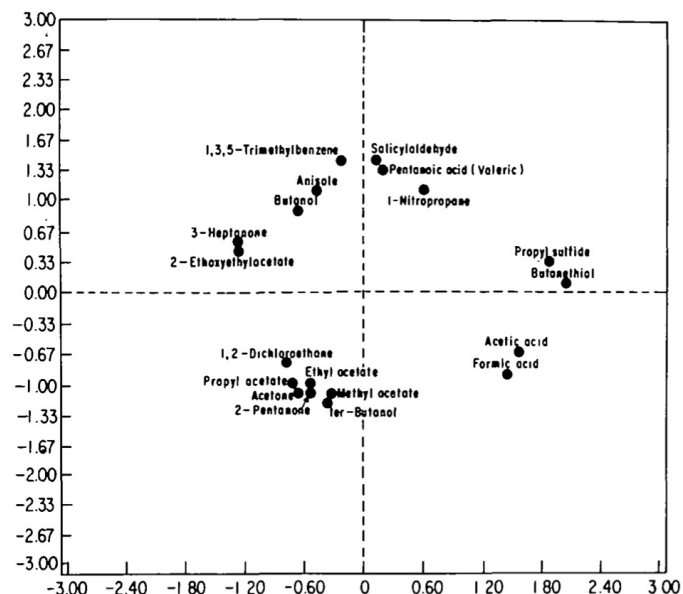
Итого: у нас есть больше трехсот типов рецепторов, несколько сотен пахучих молекул, которые различает **человеческий нос**, до триллиона их смесей с разными запахами, довольно туманное определение обонятельного образа и с десятком результатов опросов, в которых испытуемые соотнесли имена веществ с именами запахов. Между таблицей цветов Ричарда Валлера и экспериментальным доказательством трехцветности нашего зрения — почти три века. К 2021 году данных про обоняние ученые собрали несопоставимо больше, чем было известно Валлеру в свое время, но до списка атомарных запахов, и уж тем более до полноценной теории обоняния — все еще очень далеко.

«Как только молекулы активировали какие-то нейроны на самых внешних уровнях обонятельной системы, эта информация дальше идет в множество разных мест, — рассказывает Баст. — И там она каким-то образом преобразуется. Как это преобразование происходит — не исследовано совсем. На последнем этапе этой цепочки мозг создает перцепт. То есть человек узнает конкретный запах: например, кофейный или фруктовый. И здесь возникает множество разных проблем. Надо как-то связать три пространства: пространство молекул, пространство нейронной

активности и пространство обонятельных перцептов — и сделать это оптимальным образом. В итоге мы можем определить, что запахи в одной паре больше похожи друг на друга, чем в другой. То есть у пространства, в котором находятся все эти субъективные ощущения, есть какая-то внутренняя метрика».

Впрочем, собранных данных уже хватает для вполне обоснованных оценок. В каждом датасете — базе Дравника или любой похожей на нее — число измерений обоняния соответствует числу слов, с помощью которых описывали запах. Если участников просили описать запах, выбрав наиболее подходящие из 147 слов, то размерность пространства будет 147. Но число 147 было выбрано, а не получено, оно наверняка избыточно и, вероятно, многие характеристики можно выразить одну через другую. Надо искать способ каким-то образом сократить число измерений.

В 1970-е ученые начали решать эту задачу методом **многомерного шкалирования**. В 1977 году, еще до появления крупных баз имен запахов, психологи из Университета Дьюка **предложили** 12 добровольцам сравнить попарно запахи 19 веществ и ответить, похожи они или нет. По результатам этого опроса исследователи определили расстояния между веществами — чем больше респондентов говорили, что запахи отличаются, тем больше расстояние. Получившуюся карту запахов ученые смогли уместить в плоскость, назвав одно измерение «гедоническим» (вдоль этой оси запахи ранжировались по «приятности»), а другое — «тактильным» (это измерение разделяло запахи на резкие и мягкие).



Двумерная проекция пространства запахов, полученная по данным о схожести запахов 19 соединений. Susan S. Schiffman et al. / Chemical Senses and Flavor, 1977

«Многомерное шкалирование — один из простейших подходов для сокращения размерности пространства обонятельных образов, — рассказывает Баст. — Это геометрическая методика, которая, по сути, позволяет по расстоянию между точками сделать вывод об их взаимном расположении. Классический пример — расстояние между городами. Допустим, вы очень много путешествовали между городами в России и знаете расстояние между Москвой и Санкт-Петербургом, Москвой и Казанью и всеми городами по парам. Вы можете построить матрицу расстояний для всех пар городов. Вопрос в том, можно ли из этой матрицы, имея только расстояния между всеми парами городов, восстановить карту России. Если ваши данные достаточно точны, то можно понять, в пространстве какой размерности расположены все эти города. Я сам пробовал провести этот эксперимент с городами — да, с очень хорошей точностью можно определить, что для них достаточно двумерного пространства».

Позже такой же подход применяли и для более точных данных. Например, в 1989 году Гарри Лоулесс **использовал** более совершенную модель и опросил три группы по полсотни участников в каждой. В результате запахи уложились в трехмерное пространство, в котором одно измерение — «цитрусовость» запаха, второе — «древесность», а третье измерение — интенсивность запаха. В этом пространстве ученые нашли два кластера: один с древесными запахами, другой — с цитрусовыми. Но кроме них на графике можно найти разбросанные точки, которые выходят за пределы этой дихотомии. Ученые обозначили эти запахи как «смешанные ароматы». В этих бессистемно разбросанных точках, возможно, спрятались какие-то еще измерения.

Эти и другие попытки использовать многомерное шкалирование показали, что можно определить схожесть запахов, выделить какие-то кластеры и составить карты соответствий, но вывести из них размерность пространства обоняния можно только с очень большими допущениями: точность определения расстояний между запахами по опросам всегда будет уступать точности определения расстояний между городами. Хотя бы потому, что люди оценивают сходство запахов «на глаз», а расстояния между городами — намного более точными инструментами. Не исключено, что в погрешности измерений разными носами — вспомним тут о том, что запах одного и того же вещества у разных людей может сильно отличаться — остались незамеченными еще какие-то измерения.

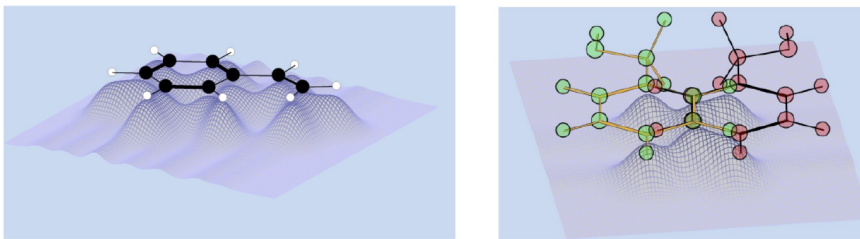
## Объективируя дух

Один из способов увеличить достоверность данных — опереться не только на показания испытуемых, но и объективные свойства веществ. С математической точки зрения кодирование стимула в обонятельной луковице — это преобразование одного многомерного многообразия в другое, химических молекул в чувственные феномены. Поэтому датасеты, в которых пахучим молекулам присваивается вербальная характеристика запаха, можно усилить, добавив к ним объективную информацию о химических свойствах этих веществ.

У пахучих веществ есть понятные параметры: элементный состав, массы молекул, плотность, летучесть. Наиболее полная из них — химическая структура. Это трехмерные матрицы координат атомов в молекуле конкретного вещества.

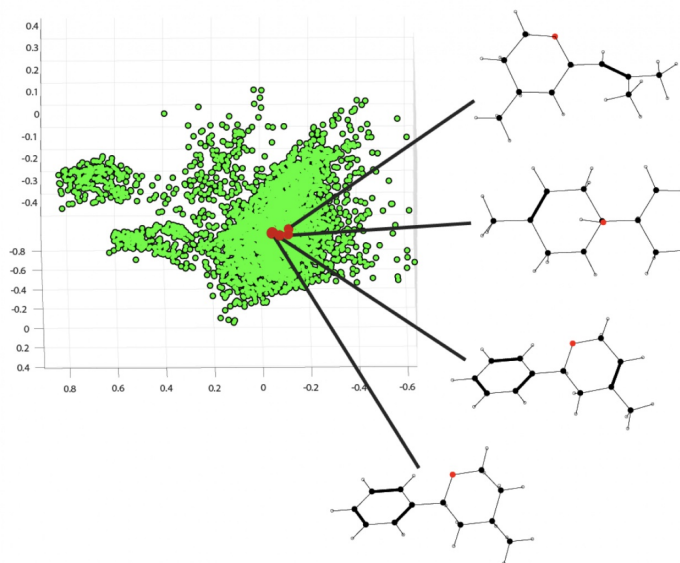
Самая крупная база химических структур **Dragon** использует больше полутора тысяч параметров для описания молекул. Эти параметры формируют 20 групп: геометрические свойства, топологические, электрические и так далее. Для анализа конкретного вещества ученый может использовать только те параметры, которые нужны ему для решения конкретной задачи. В общем, упорядочивать вещества можно и так, и эдак.

Эту же базу используют и для изучения пахнущих молекул — в том числе, пытаются разобраться с размерностью обоняния вообще. Например, Даниэль Кеппле и Алексей Кулаков из Лаборатории в Колд-Спринг-Харбор в 2018 году **создали** модель, которая предсказывает запах вещества с известной химической структурой. Она опирается не на то, как могло бы взаимодействовать вещество с рецепторами в человеческом носу, а на молекулярное сходство веществ.



Представление молекулы в форме набора гауссовых пиков (слева) и сравнение двух молекул друг с другом (справа). Daniel Kepple and Alexei Koulov / arXiv, 2018

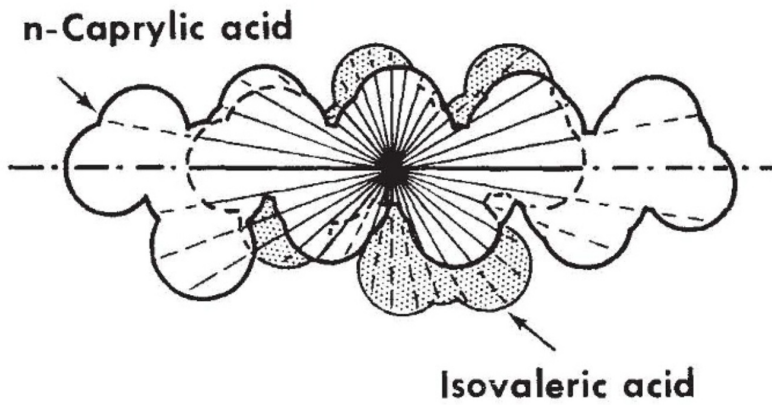
Ученые описали каждый атом 3802 пахучих молекул из пяти баз данных с помощью гауссовых распределений, после чего наложили получившиеся математические представления друг на друга и по степени их перекрытия определили степень их сходства. Чтобы сравнить все таким образом представленные молекулы, им потребовалось 10 измерений.



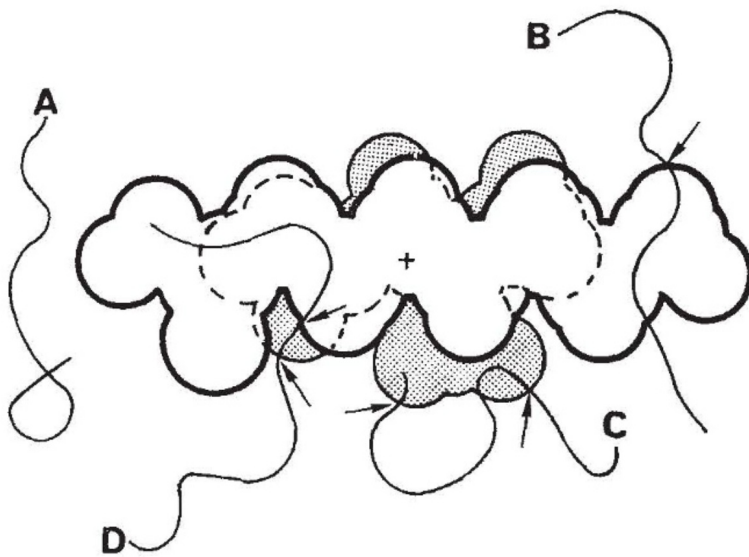
Трехмерная проекция пространства, в котором все молекулы расположены так, чтобы расстояние между ними соответствовало схожести химических структур, определенной по алгоритму наложения распределений. Daniel Kepple and Alexei Koulov / arXiv, 2018

Это число ученые получили, применив к своим данным **метод главных компонент** (principal component analysis). Примерно такой же подход используют для анализа изображений. В частности, распознавание лиц основано на сокращении размерности многообразий и поиске главных компонент. Подробнее об этом вы можете прочитать в нашем блоге **«Вули Голдберг в векторах»**.

Аналогичный прием **использовал** еще в 1967 году Джон Амур, автор одной из первых типологий запахов. Правда, вместо абстрактных представлений он сравнивал «силуэты» молекул, которые получал сначала вручную, а потом — с помощью доступного на тот момент метода компьютерного распознавания образов. По итогам этих сопоставлений ученый предсказывал запах молекул и относил к одной из семи базовых категорий.



Сравнение силуэтов каприловой кислоты и изовалериановой кислот вручную. John E. Amoore et al. / Nature, 1967

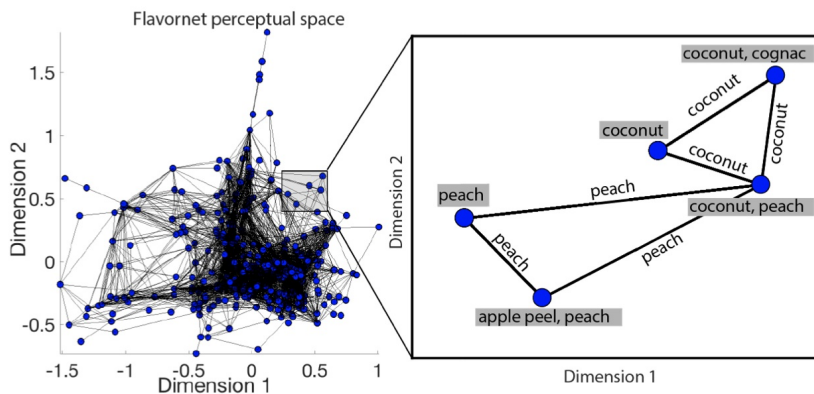


Сравнение силуэтов каприловой кислоты и изовалериановой кислот с помощью компьютерного распознавания образов. John E. Amoore et al. / Nature, 1967

## Словарь запаха

Другой способ увеличить достоверность — снова взять данные о химической структуре пахучих веществ, но искать между ними сходство, не преобразуя их в математические представления, а заходя со стороны чувств, которые эти вещества вызывают у людей. Правда, к непосредственным переживаниям получить прямой доступ нельзя, поэтому пределом для анализа здесь будут слова, которые эти чувства выражают.

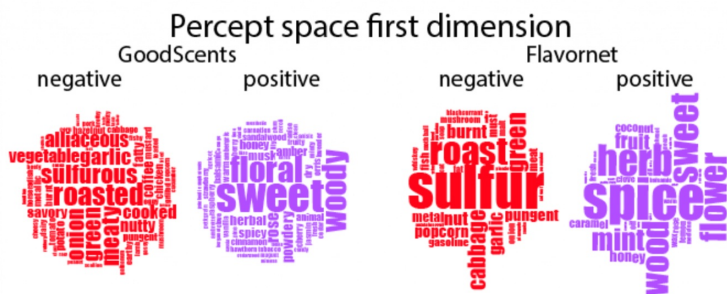
Такая работа со словарем, конечно, сложнее: в отличие от молекулярных дескрипторов, характеристики образов — не количественные, а качественные. В той же работе 2018 года Кеппле и Кулаков объединили данные пяти датасетов о связи веществ и имен их запахов и сократили размерность этого пространства с помощью того же метода главных компонент. В одних базах расстояния между веществами можно было получить, взяв оценку запаха, которой интересовались у испытуемых экспериментаторы (кислый на 3/5, приятный на 5/5 и тому подобное). В других базах вещества описывались простым набором ярлыков (кислый, приятный, мягкий). Ученые построили для каждой базы графы «пахучих дистанций», а затем по кривым дисперсии определяли размерность получившегося пространства.



Граф на двумерной проекции пространства перцептов для датасета Flavornet с качественной оценкой дескрипторов. Daniel Kepple and Alexei Koullakov / arXiv, 2018

Объединив получившиеся обонятельные карты веществ, ученые применили метод главных компонент, чтобы узнать минимальную размерность этого пространства. Оно оказалось шестимерным: то есть у запахов должно быть шесть независимых параметров, чтобы их описания можно было четко сравнить.

Причем самой главной категорией — то есть самой общей для всех запахов — оказалась гедоническая, «приятность», которую еще в 1977 году выбрали в качестве базовой психологи из Университета Дьюка. И если обратиться к другим исследованиям, то в этом даже нет какой-то особенной неожиданности — «приятность» неоднократно **оказывалась** центральной метрикой запаха и у других исследователей.



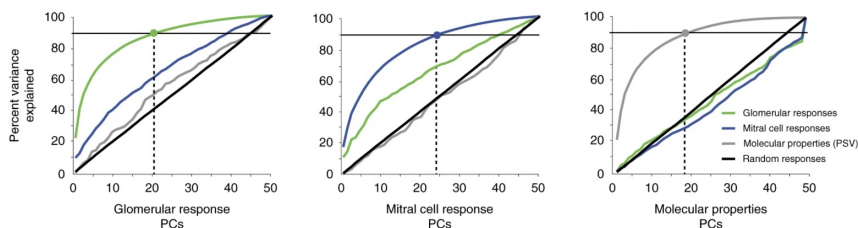
Первые измерения для запахов (после разделения на приятные и неприятные) в двух датасетах. Чем больше размер слова, тем для большого количества молекул этот дескриптор подходит в качестве первого измерения. Daniel Kepple and Alexei Koullakov / arXiv.org, 2018

Сопоставляя 10-мерное пространство молекулярных структур с шестимерным пространством образов, можно предсказать, какой запах (точка в шестимерном поле) будет у конкретного стимула (точка в 10-мерном поле). Предсказывать таким способом что-то можно, ориентируясь на соседей по многообразию. Но что делать с этими картами дальше — не очень понятно. Для отдельных молекул так можно предсказать, какой образ они сформируют, или по крайней мере отдельные его составляющие. Но не очень точно — и только если по соседству с ней есть молекулы с известным запахом.

В 2010-е ученые начали привлекать для работы со словарем запахов методы обработки естественного языка, основанные на машинном обучении — в определенном смысле, воспроизводя исторический сценарий «именования» запахов по аналогии с теорией Берлина и Кэя о порядке возникновения цветов в человеческих наречиях. Например, в 2018 году исследователи из IBM **обучили** лингвистическую модель предсказывать описание запаха по формуле молекулы.

Для этого они сначала предъявили ей два датасета, в каждом из которых названию вещества соответствовал набор словесных дескрипторов с коэффициентами, — это база Дравника 1985 года и база аналогичного исследования DREAM 2017 года. Затем они научили модель переводить из одного словаря запахов (набора коэффициентов в базе Дравника) в другой (набор коэффициентов в базе DREAM). После этого модель познакомилась с химическими формулами этих веществ — в форме данных масс-спектрометрии. А затем предъявляли ей формулы неизвестных веществ — а она в ответ смогла предсказать, как их назвать по словарю Дравника. Из ста с лишним дескрипторов машина научилась предсказывать 70 с вероятностью выше 50 процентов (остальные слова она не игнорировала, но с ними выходило не так удачно).





Процент изменений в отклике нейронов клубочка (зеленые кривые), митральных клеток (синие кривые) и молекулярных свойств пахучих веществ (серые кривые), которыми описывается сигнал, в зависимости от числа параметров, которые используются для этого описания. Черная кривая — случайный сигнал в качестве кривой сравнения. Для описания отклика в клубочках нужно 21 измерение, в митральных клетках — 24 измерения, а 17 независимых молекулярных свойств должно хватить для различения обонятельных стимулов друг от друга. Honggoo Chae et al./ Nature Communications, 2019

При увеличении числа параметров точность описания почти не растет. По этим данным можно сделать оценку размерности обоняния если не для человека, то хотя бы для мыши. С учетом того, что количество обонятельных стимулов в исследовании было ограниченным, число 20 можно рассматривать как грубую оценку числа «атомарных запахов» — оно может быть немного больше, может быть немного меньше, но где-то около.

На эту тему: **Странный вкус? Симптом!**

## Генеалогия морали

Математические, нейробиологические и лингвистические приемы позволяют сузить диапазон поиска атомарных запахов: человеческое обонятельное пространство, как минимум, шестимерное и как максимум — 30-мерное. И кажется, что самая важная из характеристик запаха — его приятность.

Если это так, то исследования обоняния приобретают довольно любопытный уклон. Видимый нами цвет растянут в три стороны, вкус раскладывается на пять векторов. Но синий и соленый — это не хорошо и не плохо; можно предпочитать какой-то вкус или цвет другим, но сказать в строгом смысле, что один лучше другого, нельзя. А вот в самой основе обоняния, возможно, лежит моральное измерение.

Хеморецепция помогает кишечной палочке разобраться, где ей будет хорошо, а где — плохо. Она двигается по увеличению концентрации питательных веществ и против градиента токсинов. У человека обонятельная система уже значительно сложнее, но, как и у кишечной палочки, все еще остается инструментом молекулярного анализа мира. И, как показывают эксперименты, где-то на самой его глубине мы остаемся верны тому же принципу, что и кишечная палочка — наши носы просто предпочитают одни вещества другим.

За время эволюции обоняния у запахов появилось множество нюансов, одним измерением их уже объять, а в десятке обонятельных метрик легко потеряться. Но отличить приятный запах от неприятного человеку проще, чем найти в нем камфору или дохлую крысу. Поэтому и не потеряться между добром и злом нам поможет нос.

Александр Дубов, опубликовано в издании **N + 1**

На эту тему:

- **Исследователи: запах еды запоминается через рот**
- **Синдром больного здания: в чем причина недуга?**
- **Пораженный гениальностью. Как удар по голове превратил продавца диванов в гения**
- **Сколько можно продержаться без еды? Как человеческий организм реагирует на голод**
- **Научиться языку кустов**

Share 0

Читайте «Аргумент» в **Facebook** и **Twitter**

Если вы заметили ошибку, выделите ее мышкой и нажмите **Ctrl+Enter**.

Комментарі

ВІДЕО

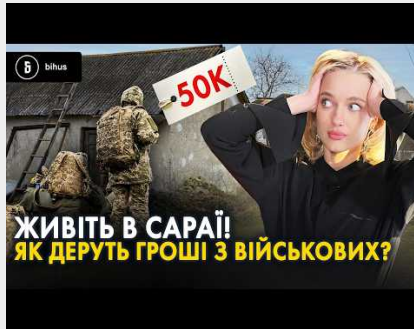
Про що не можна було жартувати в СРСР



HEAVY SHOT, VAMPIRE, NEMESIS: як «Баба Яга» б'є ок\*пантів



Воюєш? Плати більше! 50к за оренду і космічні комісії: як виглядає ринок житла на фронті?



[Головна](#)   [Про сайт](#)   [Опитування](#)

© 2011 «АРГУМЕНТ»

**Републікація матеріалів:** для інтернет-видань обов'язковим є пряме гіперпосилання, для друкованих видань – за запитом через електронну пошту. **Посилання або гіперпосилання повинні бути розташовані при використанні тексту - на початку використовуваної інформації, при використанні графічної інформації - безпосередньо під об'єктом запозичення.** При републікації в електронних виданнях у кожному разі використання вставляти гіперпосилання на головну сторінку сайту [argumentua.com](http://argumentua.com) та на сторінку розміщення відповідного матеріалу. За будь-якого використання матеріалів не допускається зміна оригінального тексту. Скорочення або перекомпонування частин матеріалу допускається, але тільки в тій мірі, якою це не призводить до спотворення його сенсу.

Редакція не несе відповідальності за достовірність рекламних оголошень, розміщених на сайті, а також за вміст веб-сайтів, на які дано гіперпосилання.

Контакт: [uargumentum@gmail.com](mailto:uargumentum@gmail.com)