

ЧТО ПЧЕЛЫ ЗНАЮТ ЦВЕТАХ

Ю. ТАУТЦ

Зрительная и обонятельная картины мира пчел, как и их способность ориентироваться в пространстве, и большая часть их коммуникации построены вокруг их отношений с цветковыми растениями. Для пчел пыльца и нектар — это естественно возобновляемые виды сырья, которые являются важнейшими факторами, определяющими структуру и жизнедеятельность пчелиной семьи. Цветы в наличии бывают не всегда, да и их количество в пределах досягаемости не безгранично. Они представляют собой невосполнимый ресурс, за который пчелиные семьи конкурируют между собой и с другими насекомыми. Вследствие этого, у пчел выработался ряд поразительных способностей, дающих им возможность первыми добраться до цветов и собрать с них урожай. В этом выпуске журнала мы публикуем главу (в сокращении) из книги Ю. Таутца «Жужжание о пчелах. Биология суперорганизма», изданной в издательстве Spektrum-Springer весной 2007 г. На русском языке книга выйдет в издательстве «Инфолио» весной 2009 г.

Сочетание анатомических, физиологических и поведенческих исследований указало на тесную связь между характерными признаками цветов и чувственным восприятием у пчел. Пчелы и цветы связаны между собой посредством двух модальностей чувственного восприятия — зрения и обоняния. Впрочем и для человека восприятие цветов определяется цветом и запахом.

Точечное восприятие мира

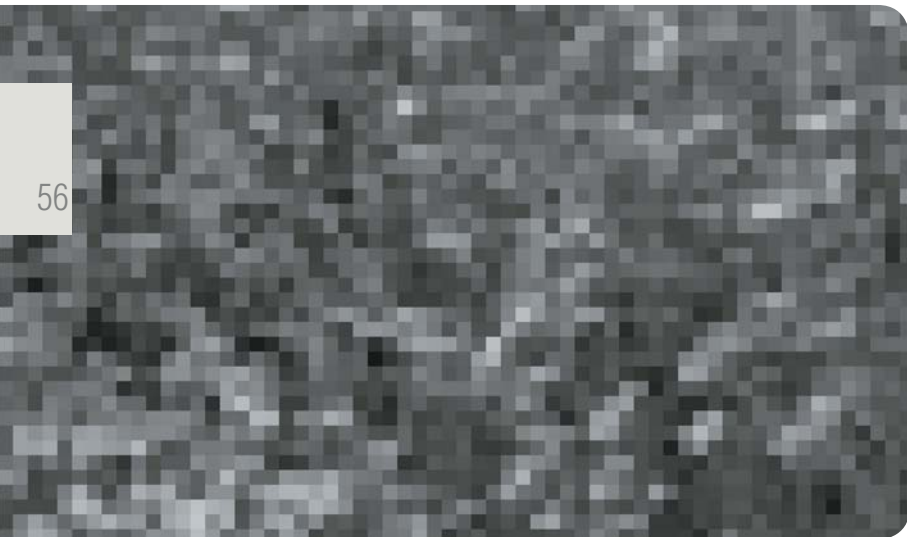
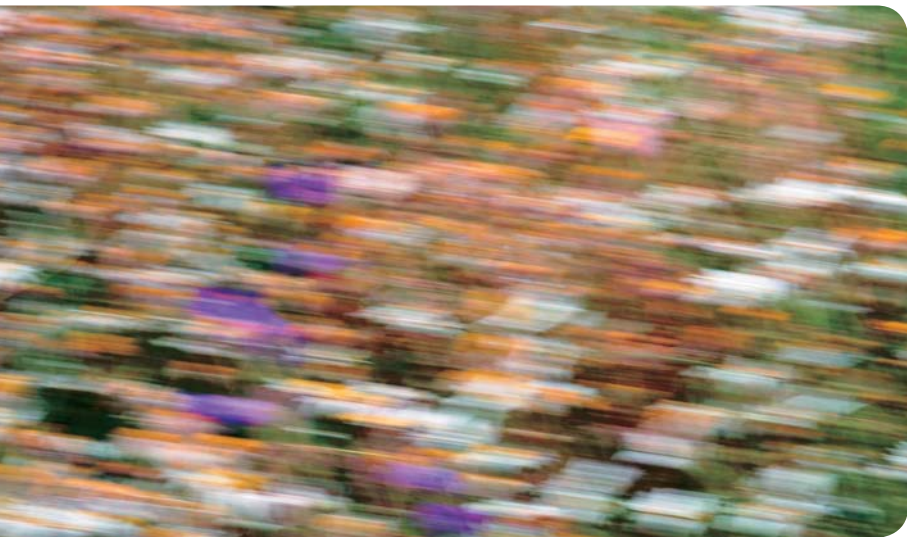
Зрение пчелы значительно отличается от человеческого. Их фасетчатые глаза состоят примерно из шести тысяч одиночных глазков. Для них картина внешнего мира складывается из множества довольно больших «точек». Свет, длина волны которого лежит в длинноволновой области видимого спектра — там, где для нас находится «красное» — лишь очень слабо возбуждает фоторецепторные клетки пчелы. Предмет, отражающий свет с длиной волны, которая не возбуждает зрительные рецепторы, видится как черный. Покрытое красными маками поле предстает перед глазами пчелы как поле, усе-

Значение, которое имеют частные детали сенсорных систем разных животных, нередко обретают смысл в связи с биологическим контекстом, в котором они реализуются. Пчелы используют короткий диапазон для ориентирования в полете. Цветы же используют диапазон светочувствительности пчелы, размещая на лепестках участки, отражающие короткие волны и поэтому служащие как сигналы-аттрактанты, привлекающие пчел-опылителей

ТАУТЦ Юрген — доктор биологических наук, профессор Института физиологии и социобиологии поведения (Университет в Вюрцбурге, Германия), руководитель БИГрупп. Занимается фундаментальными исследованиями в области биологии пчел, результаты которых публикуются в престижных научных изданиях, ведет огромную работу по популяризации знаний о пчелах для широкой публики

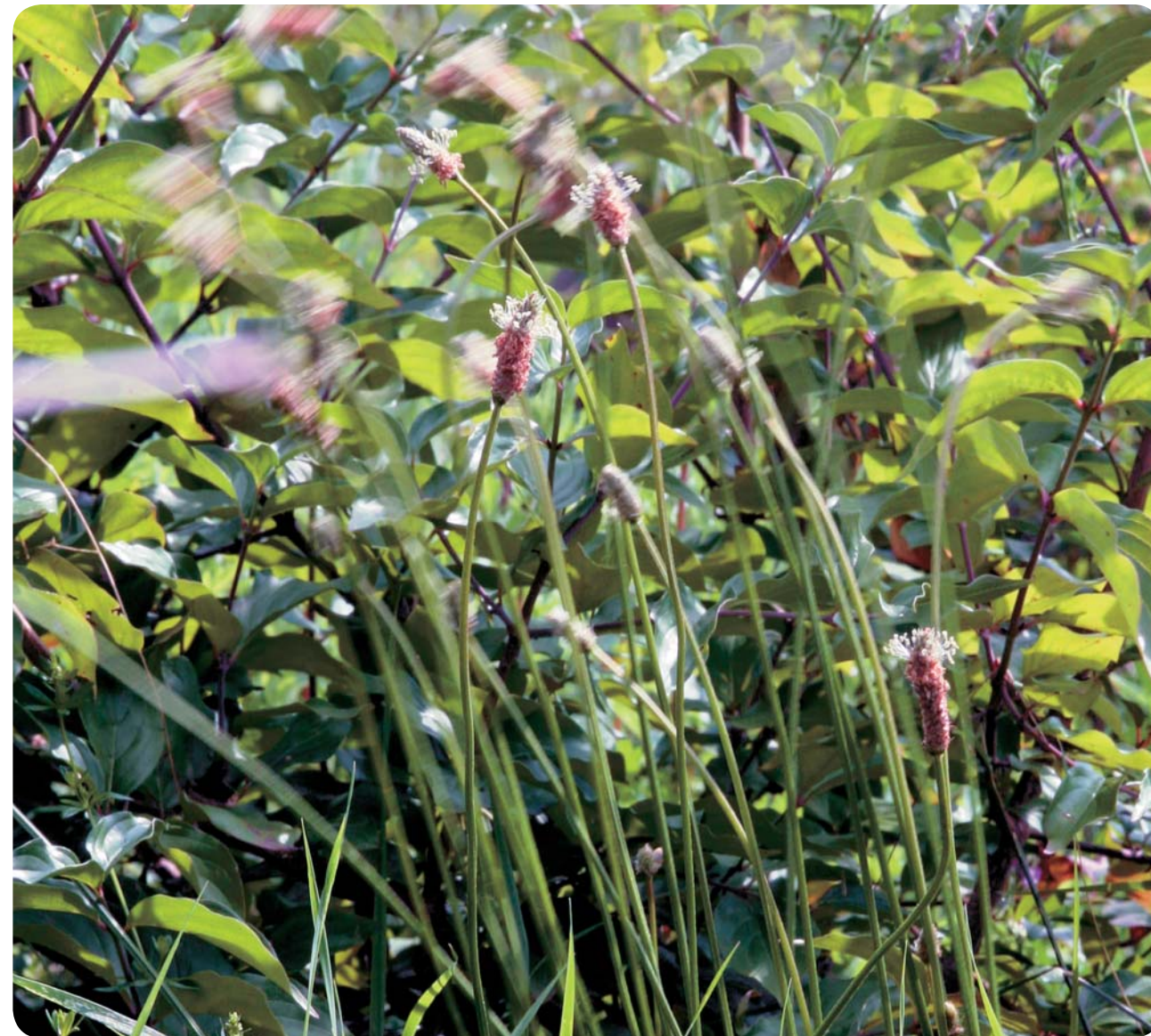


У многих цветков на лепестках есть участки, отражающие ультрафиолетовый свет. Таким образом, зрительные образы, которые видят пчелы (рис. вверху) невидимы для человека (рис. внизу)



У пчел два больших фасетчатых глаза и три маленьких простых глазка. Каждый фасетчатый глаз воспроизводит образ, состоящий из грубой матрицы точек разного цвета и интенсивности. Глаза трутней крупнее, чем у рабочих пчел и пчелиных маток. На фото — трутень, который только что вылупился из куколки

Быстро летящие пчелы не различают цветов. Цветовая информация в этот момент менее важна и не обрабатывается. Разноцветное цветочное поле (рис. вверху) видится смазанным, но все равно цветным для человека, проходящего мимо него (рис. центр). Напротив, пчела, летящая мимо того же поля с той же скоростью, будет воспринимать: картину, составленную из грубого сочетания точек разной интенсивности; резкий сфокусированный образ; образ только черно-белый (рис. внизу)

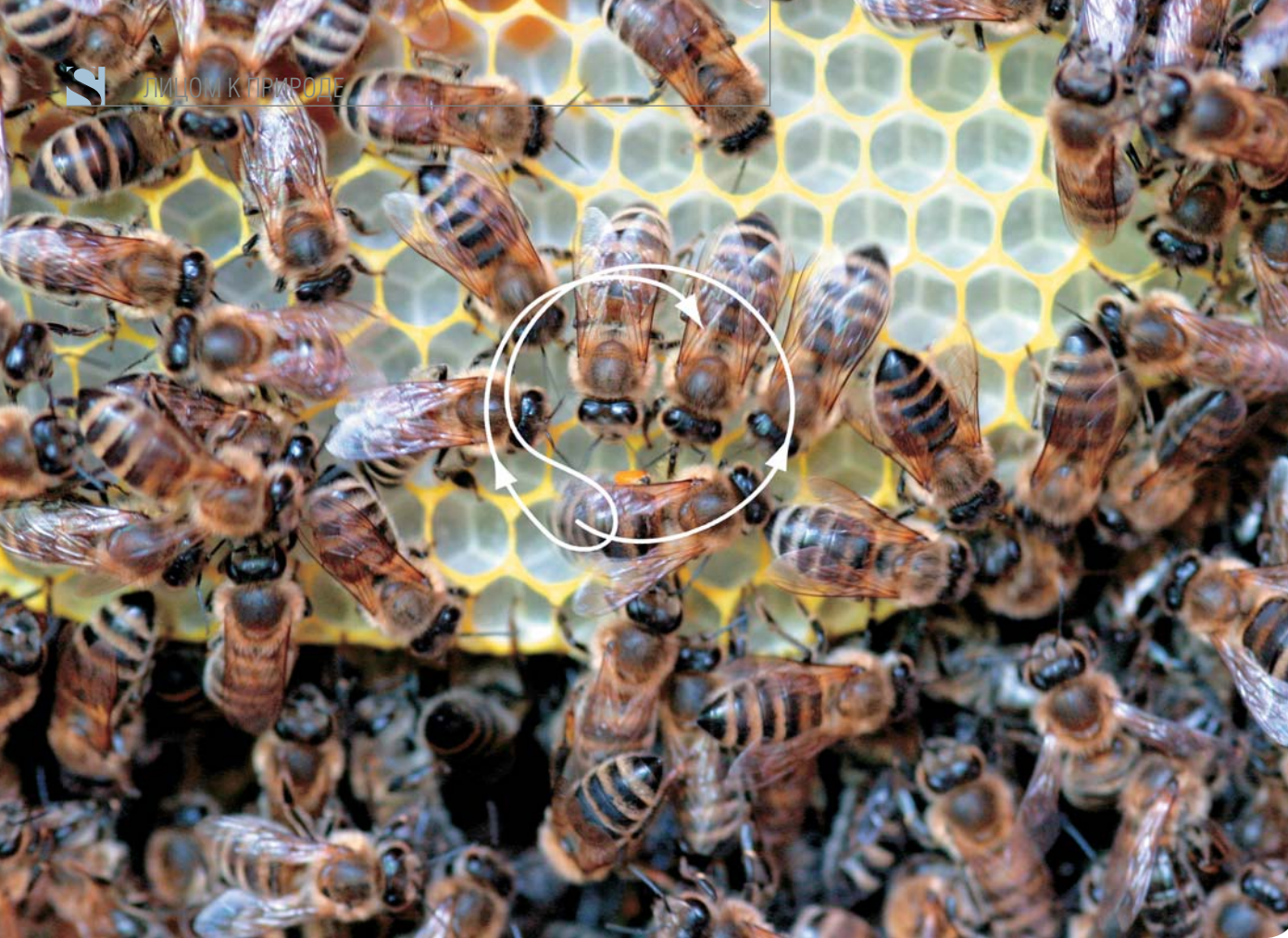


Мелкие цветы на тонких стеблях колышутся при малейшем дуновении ветра, привлекая зрительную систему пчел, нацеленную на движение, и потому не остаются незамеченными, несмотря на крохотный размер и бледные цвета

янное черными пятнами. Дефицит светочувствительности в красной области спектра у пчел компенсируется выигрышем в восприятии коротковолновой области видимого спектра: пчелы различают ультрафиолетовый свет, для нас, в отсутствие специальных технических приспособлений, невидимый.

Лепестки цветка многих растений имеют поверхности, особенно сильно отражающие ультрафиолетовый свет и, таким образом, предстающие перед глазами пчелы в виде невидимых нам узоров. Эти узоры могут служить пчелам-сборщицам посадочными сигналами,

Пчелы, как и многие другие насекомые, видят мир будто в замедленной съемке. Быстрые движения, которые мы воспринимаем расплывчатыми, пчелы в любой момент воспринимают совершенно четко. Например, резкие движения, совершаемые в испуге людьми, отгоняющими пчел и ос, служат им легко распознаваемыми ориентирами при атаке. Они часто жалят нас в области вокруг рта и это объясняется, в первую очередь, движениями наших губ при разговоре



Пчела-сборщица нашла источник пищи недалеко от улья и исполняет круговой танец. В нем содержится указание на то, что именно надо искать, и информация о том, что место это находится недалеко от улья

но могут также и упрощать для них зрительное распознавание различных видов растений.

Значение, которое имеют частные детали сенсорных систем у разных животных нередко обретают смысл в связи с биологическим контекстом, в котором они реализуются. Пчелы используют коротковолновый диапазон для ориентирования в полете. Цветы же используют диапазон светочувствительности пчелы, размещая на лепестках участки, отражающие короткие волны, и поэтому служат как сигналы-аттрактанты, привлекающие пчел-опылителей.

Вообще дела обстоят еще более сложно: цвета, которые видит пчела, по существу, определяются длинами волн, но также (хотя нам и сложно это представить) скоростью полета пчелы. Таким образом, даже сама поведенческая задача, стоящая перед пчелой, может влиять на ее цветовое восприятие.

Когда пчела перемещается в пространстве со скоростью 30 км/ч, ее цветовое зрение отключено, в этот момент она не способна различать цвета (Chittka, 2002; Spaethe et al., 2001). Цветы обретают окраску для пчелы только при приближении к ним и медленном облете.

С биологической точки зрения, этот феномен вполне понятен: при быстром полете окраска цветов для пчелы излишняя информация, в то время как ее небольшой мозг должен быть сосредоточен на более важных деталях полета — распознавании ориентиров на местности, препятствий и посадочных знаков.

Пчелы, как и многие другие насекомые, видят мир будто в замедленной съемке. Быстрые движения, которые мы воспринимаем расплывчатыми, пчелы в любой момент воспринимают совершенно четко. Например, резкие движения, совершаемые в испуге людьми, отгоняющими пчел и ос, служат им легко распознаваемыми ориентирами при атаке. Они часто жалят нас в области вокруг рта и это объясняется, в первую очередь, движениями наших губ при разговоре.

Цветы неподвижны, поэтому странно, что пчелы обладают высокой зрительной чувствительностью к движениям. Некоторые цветы используют это свойство в своих интересах. Разные виды растений ведут конкуренцию за пчел так же, как пчелиные семьи конкурируют за цветы. Более крупные и ярко окрашенные цветы привлекают больше посетителей, чем их кон-

куренты. Каким образом растения с более мелкими цветками могут привлечь пчел? Мелкие цветы часто расположены на тонкой и гибкой цветоножке — даже слабое дуновение ветерка шевелит их, привлекая внимание пчел.

Танцующие пчелы

Исключительно сложная коммуникация, имеющая место между «владеющими информацией» пчелами и пчелами «малосведущими» до сих пор недостаточно осмысленна. Она представляет собой последовательность форм поведения, исполняемых пчелами в улье и на местности. Так называемый «язык танца», открытый Карлом фон Фришем и сейчас стал одной из наиболее изучаемых форм коммуникативного поведения животных — лишь одно из звеньев этой цепи.

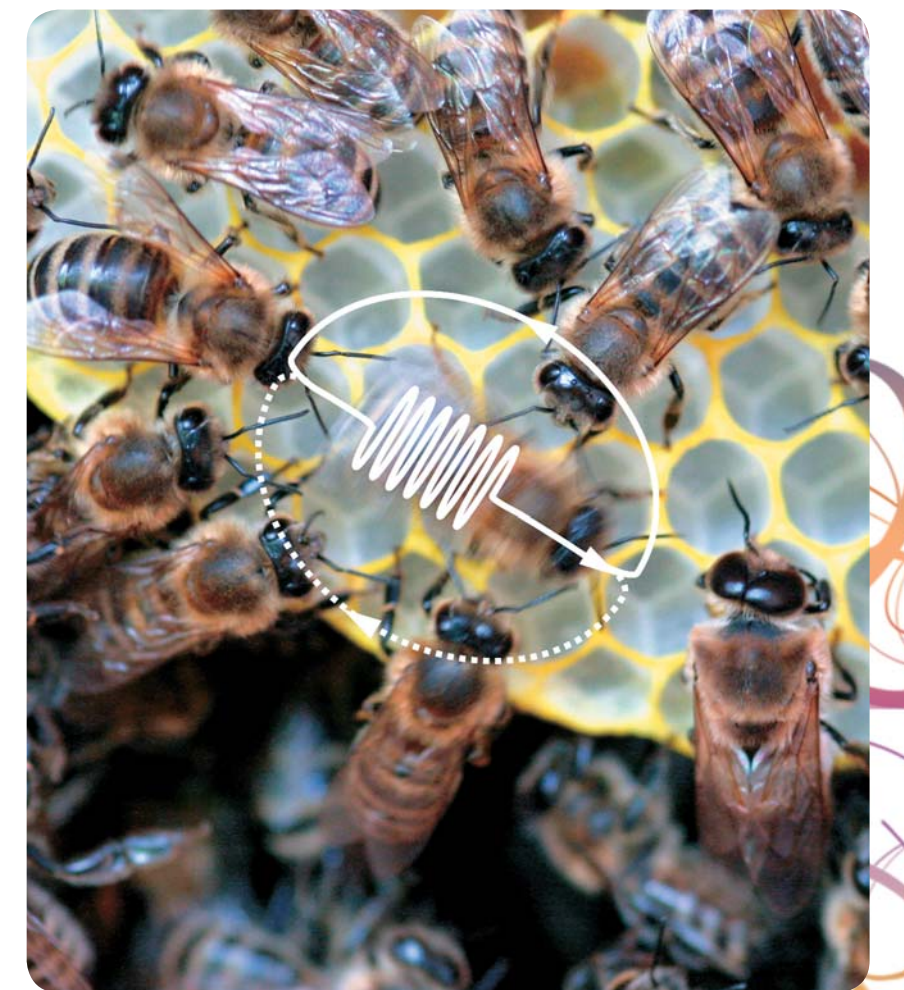
Например, пчела, нашедшая цветущее вишневое дерево, возвращается в улей с некоторым количеством нектара. Она передает нектар пчеле-хранительнице и снова покидает улей, чтобы вернуться к той же вишне. Так повторяется несколько раз, причем каждый последующий полет занимает все меньше времени, вероятно в связи с тем, что маршрут полета становится с каждым разом все более прямым. Как только са-

Пчела-сборщица нашла далекий источник пищи и исполняет виляющий танец. Пчела трясет телом из стороны в сторону, с частотой 15 раз в секунду. Затем она делает круг, возвращаясь в точку, где начала «виляние», повторяет виляющую фазу и снова делает круг, но теперь уже в обратном направлении. Полный раунд танца длится всего лишь несколько секунд, но этого вполне достаточно, чтобы рассказать о местоположении источника пищи

Для того чтобы разобраться в сложном поведении пчел при поиске ими цветов и сборе урожая, полезно разбить их действия, связанные с полетами к цветам, на несколько функциональных шагов.

Чтобы использовать природное богатство цветковых растений, пчелы-сборщицы, практически должны уметь выполнять следующие операции:

- распознавать цветы как таковые;
- различать разные виды цветов;
- оценивать состояние цветка;
- уметь обработать цветок с помощью ножек и ротового аппарата;
- определять расположение цветка на местности;
- определять часы в течение суток, когда различные цветы производят больше нектара;
- делиться информацией с членами семьи, выступая в качестве курьера в системе коммуникации;
- уметь самой принять и понять передаваемую в такой коммуникационной системе информацию о том, где найти цветы



мый короткий маршрут будет проложен, на что обычно требуется до десяти полетов, пчела начинает свой танец.

Как выяснил Карл фон Фриш, когда источник пищи находится в радиусе не более 50–70 м, пчела исполняет круговой танец. В этом танце содержится лишь некоторое количество информации о хорошем источнике. Он дает лишь указание на то, что именно надо искать, и информацию о том, что место это находится недалеко от улья. От пчелы, прилетевшей после посещения вишневого дерева, пахнет вишнями, и такую вишню будет несложно найти за несколько облетов вокруг улья.

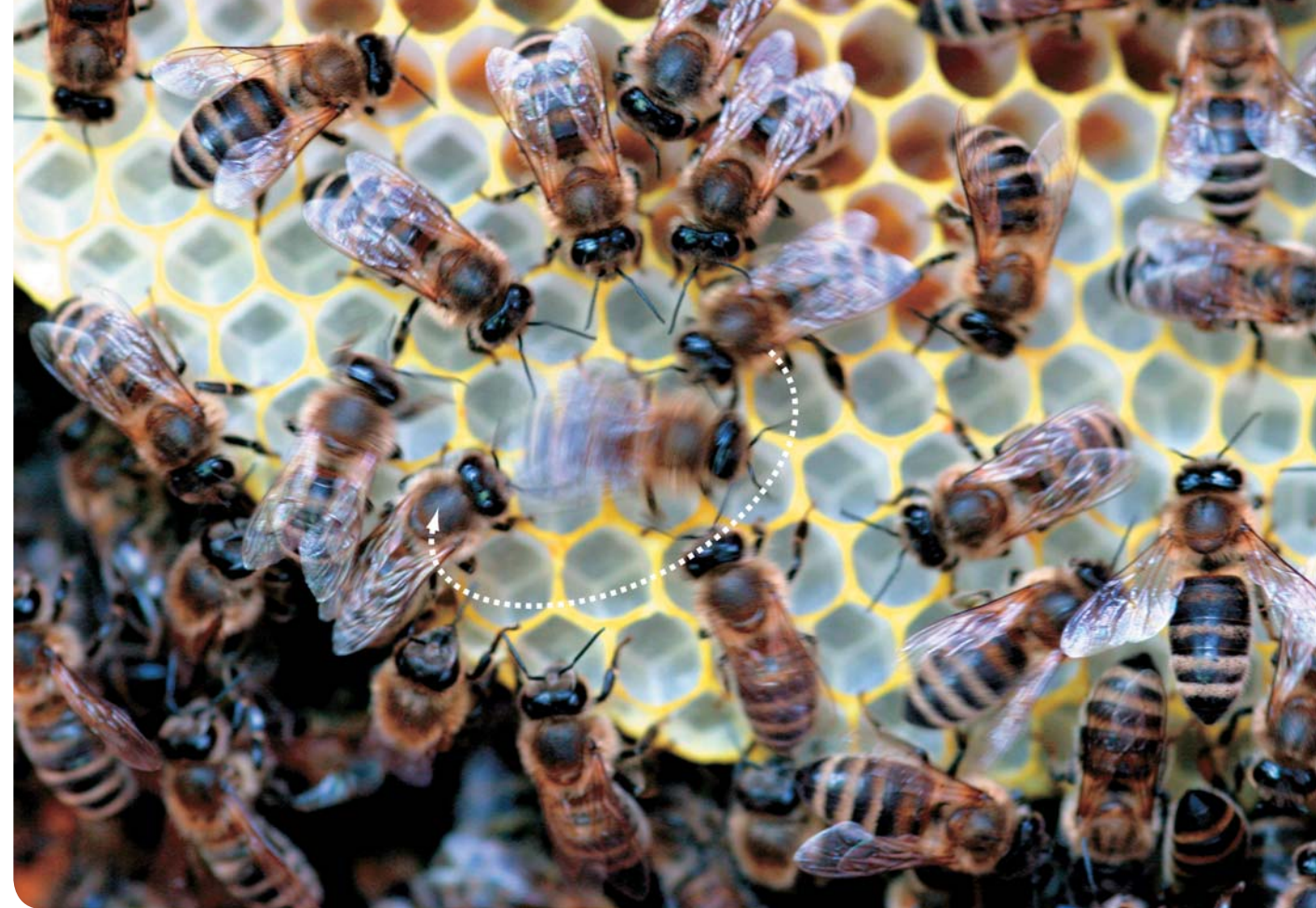
Если источник пищи расположен на большем расстоянии от улья, то подсказка, указывающая на его местоположение была бы не лишней и позволила бы обойтись без долгих разведывательных полетов. Пчела, стремящаяся привлечь на помощь других, передает эту информацию в виляющем танце. Детали передвижений пчелы в этом танце, как обнаружилось, указывают на местоположение источника пищи относительно улья.



Поразительная последовательность движений виляющего танца исполняется с такой интенсивной регулярностью, что привлек немало внимания со стороны исследователей. Современные методы, такие как съемка крупным планом и съемка высокоскоростной камерой, позволили зафиксировать поразительные детали. Виляющий танец получил название по характерному движению в ходе танца, когда пчела, сидящая на сотах, трясет телом из стороны в сторону, с частотой 15 раз в секунду. Затем она делает круг, возвращаясь в точку, где начала «виляние», повторяет виляющую фазу и опять делает круг, но в этот раз в обратном направлении: таким образом, две половины танца, вместе взятые, образуют траекторию, похожую на лежащую на боку восьмерку.

Полный раунд танца длится лишь несколько секунд и исполняется на участке диаметром 2–4 см. Детали мелких и быстрых движений впервые обнаружены при замедленном воспроизведении высокоскоростной киносъемки. Стало ясно, что первоначальное впечатление, что пчела бежит по сотам в виляющей фазе танца — это оптическая иллюзия, вызванная тем, что пчела вытягивается вперед во время быстрых движений телом из стороны в сторону. На самом деле, пчелы, скорее, исполняют «виляющую стойку»,

Коммуникация посредством танца требует, чтобы лапки пчелы-танцовщицы оставались крепко сцепленными с сотами. Таким образом, пчела исполняет, скорее, «виляющую стойку», чем «виляющий танец». Ее шесть лапок (отмечены белыми точками) сохраняют контакт с краями ячейки, тогда как виляющее тело вытягивается вперед относительно находящихся в неподвижности лапок (показано стрелкой)



Только те партнерши по танцу, чьи движения полностью соответствуют и подстроены под движения пчелы-танцовщицы, и которые следуют за ней несколько раундов танца, получают информацию о местонахождении источника пищи

чем «виляющий бег», и в этой позиции она остается стоять на сотах всеми шестью лапками настолько долго, насколько это ей под силу, при этом вытягиваясь вперед. Некоторые пчелы на момент отрываются от поверхности сот в поиске более устойчивой стойки и, вытягиваясь вперед, бывают вынуждены передвинуть одну из лапок, но не более чем на пару шагов (Tautz et al., 1996).

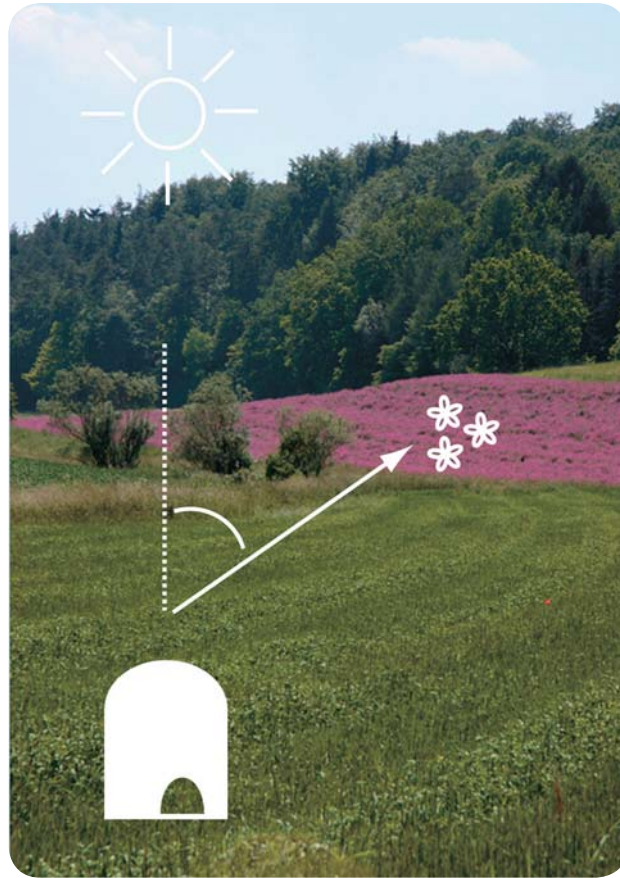
Танцы пчел происходят практически всегда на небольшом участке рядом с летком. На этом «танцполе», явно химически помеченном пчелами, пчелы-танцовщицы встречаются с пчелами-сборщицами, которым интересны их сообщения. Если этот участок сот вырезать и переместить в другое место улья, пчелы будут его искать, пока не найдут на новом месте, прежде чем снова исполнить свой танец (Tautz, 1997).

Пчела-танцовщица и ее последователи, до десяти из которых тесно сбиваются вокруг нее, исполняют балет, в котором движения участников строгим образом скоординированы.

Движения как пчелы-танцовщицы, так и ее партнерш, строго срежиссированы. Последовательные перемещения ножек и повороты туловища следуют единому

рисунку. Сложный рисунок движений партнерш, куда менее явный, чем у пчелы-танцовщицы, обнаруживается только при замедленном воспроизведении видеосъемки. Проанализировав ее видно, что только те партнерши, которые точно исполняют всю детальную последовательность движений, попадают «в такт» в ходе нескольких последовательных раундов.

Отдельные элементы виляющего танца содержат информацию о расстоянии между ульем и источником пищи, о направлении и других деталях. Направление всегда задается в отношении к некоторой контрольной точке. Положение солнца или угол поляризации небосклона задают такую точку снаружи улья. Однако танец происходит на поверхности вертикально висящих сот внутри темного улья. Здесь единственной контрольной точкой является направленная вниз сила притяжения. Вне улья в полете пчелы видят положение солнца и переводят угол, заданный им в виляющем танце относительно силы гравитации, в соответствующий угол между солнцем и ульем, таким образом определяя направление к источнику пищи.



Пчелы находят путь к источнику пищи по солнечному компасу. Вектор над ульем указывает на положение Солнца

Скорость полета «на глазок»

Вильяющий танец содержит информацию о расстоянии от улья до источника пищи. Чем длительнее вильяющая фаза танца, тем дальше находится источник. Однако, в отличие от информации о направлении, передача информации о расстоянии в танце связана с рядом проблем. В частности, длительность вильяющей фазы растет пропорционально увеличению расстояния только до нескольких сотен метров. Затем она увеличивается понемногу, однако информация о расстоянии до более дальних целей всегда менее точна. Еще одна сложность заключается в том, что пчелы используют *визуальный одометр* (счетчик пройденного расстояния), чтобы определить расстояние полета, указанное им в танце. Данные, получаемые от этого счетчика, соотносятся со структурными особенностями местности, по которой летит пчела.

При полете по структурированной местности изображения объектов движутся от фасетки к фасетке по

поверхности сложного глаза пчелы. Результатом этого является возникающее в зрительном поле пчелы «оптическое течение», позволяющее ей определить скорость полета (Srinivasan et al., 2000; Esch et al., 2001; Tautz et al., 2004). Эта способность есть и у нас, например, когда мы наблюдаем проплывающие за окном пейзажи. Однако на основании «оптического потока» пчелы способны определять пройденное ими расстояние — свойство, нам слабо подвластное, если вообще данное.

Некоторые простые эксперименты с пчелиным одометром дали понимание ряда особенностей восприятия пчелы. Пчелы, летящие к источнику пищи по узкому туннелю с узорчатыми стенами, ощущают искусственное увеличение оптического течения на коротком расстоянии, которое они пролетели. Это обманывает пчел, которые переводят искусственно увеличенное оптическое течение в более дальнее расстояние, что соответствующим образом отражается в удлиненной вильяющей фазе танца. Такой несложный «обман» в отношении оцениваемого пчелой расстояния открывает окошко в мир субъективного восприятия пчелы, в котором длительность вильяющей фазы — отражение субъективного ощущения пчелой дальности дистанции полета.

Использование «обманного туннеля» позволило подтвердить некоторые старые идеи, опровергнуть иные, прояснить спорные вопросы, а также дало понимание некоторых новых моментов:

- опровергнуто мнение, что пчелы используют расход энергии как меру расстояния полета;
- подтверждено использование визуального одометра и предположение, что определение расстояния происходит в полете до источника пищи, а не в обратном полете;
- разрешен длящийся десятилетиями спор о том, используют ли пчелы информацию, полученную в вильяющем танце. «Обманный туннель» позволил получить «неправильных пчел», которые собирали корм на расстоянии 6 м от улья, но в танце передававших информацию о расстоянии в 30 раз большем. Именно на таком расстоянии от улья затем можно было обнаружить пчел-рекрутов в поиске источника пищи, которого там не было. Разумеется, те использовали информацию, полученную в танце;
- с помощью разноцветного узорчатого туннеля получен новый вывод о том, что из трех цветовосприимчивых клеток-фоторецепторов в фасетчатом глазе пчелы, каждая из которых лучше реагирует на ультрафиолетовый, синий или зеленый цвет, соответственно, только зеленый фоторецептор используется для измерения расстояния.

Простая манипуляция танцем пчелы с помощью туннельных полетов показала, что расстояния, «показывае-

Вид из улья редко бывает одинаковым во всех направлениях. Различные детали ландшафта, над которыми летит пчела, вызывают у нее оптические потоки разной интенсивности, что ведет к различиям в длительности вильяющего танца при одинаковых расстояниях, пролетаемых на местности

мые» пчеле визуальным одометром, зависят от структуры местности по направлению полета. При проверке этой идеи оказалось, что полет через ландшафт с ровным рельефом приводил к танцу с короткой вильяющей фазой, а полет на то же расстояние через сложный структурированный ландшафт — к танцу с длинной фазой. У пчел, летящих к источникам корма, которые находятся на одинаковом расстоянии, но в разных направлениях от улья, вильяющие фазы танца и, соответственно, показатели расстояния, могут различаться в два раза. Вильяющая фаза в 500 мс может, например, при полете на юг означать расстояние в 250 м, а при полете на запад от того же улья — 500 м.

Из этого мы можем сделать два вывода:

- одометр пчелы не дает информации об абсолютном расстоянии и может быть полезен только тем рекрутам, которые покидают улей в том же направлении (и на той же высоте), что и танцующая пчела;
- следует пересмотреть представление о том, что перевод расстояния полета одинакового расстояния у пчел разных рас будет транслироваться в различную продолжительность вильяющей фазы, поскольку «язык танца» у них имеет различные «диалекты».

Продолжительность вильяющей фазы лишь слегка отличается у пчел разных рас при полете по одному и тому же маршруту. Сравнение танца пчел одной и той же расы на одно и то же расстояние, но над различными ландшафтами, пока-



Что же пчелам следует знать о цветах, и откуда они берут эти знания?

В принципе, есть три пути получения знаний:

- информация бывает унаследованной, сокрытой в геноме в виде инстинктов;
- информация бывает приобретенной на опыте (обучение);
- информация бывает переданной другими, более опытными представителями вида (коммуникация)

зывает, что отличия, связанные с рельефом ландшафта значимо больше, чем вариация между расами. Таким образом, при оценке кодирования дальности полета в пчелином танце у различных рас и в разных местностях, исследователь, скорее, сравнивает визуальные свойства ландшафта, а не свойства пчелиных рас.

фазы, в которой содержится информация о расстоянии, привлекательности источника пищи, не влияет.

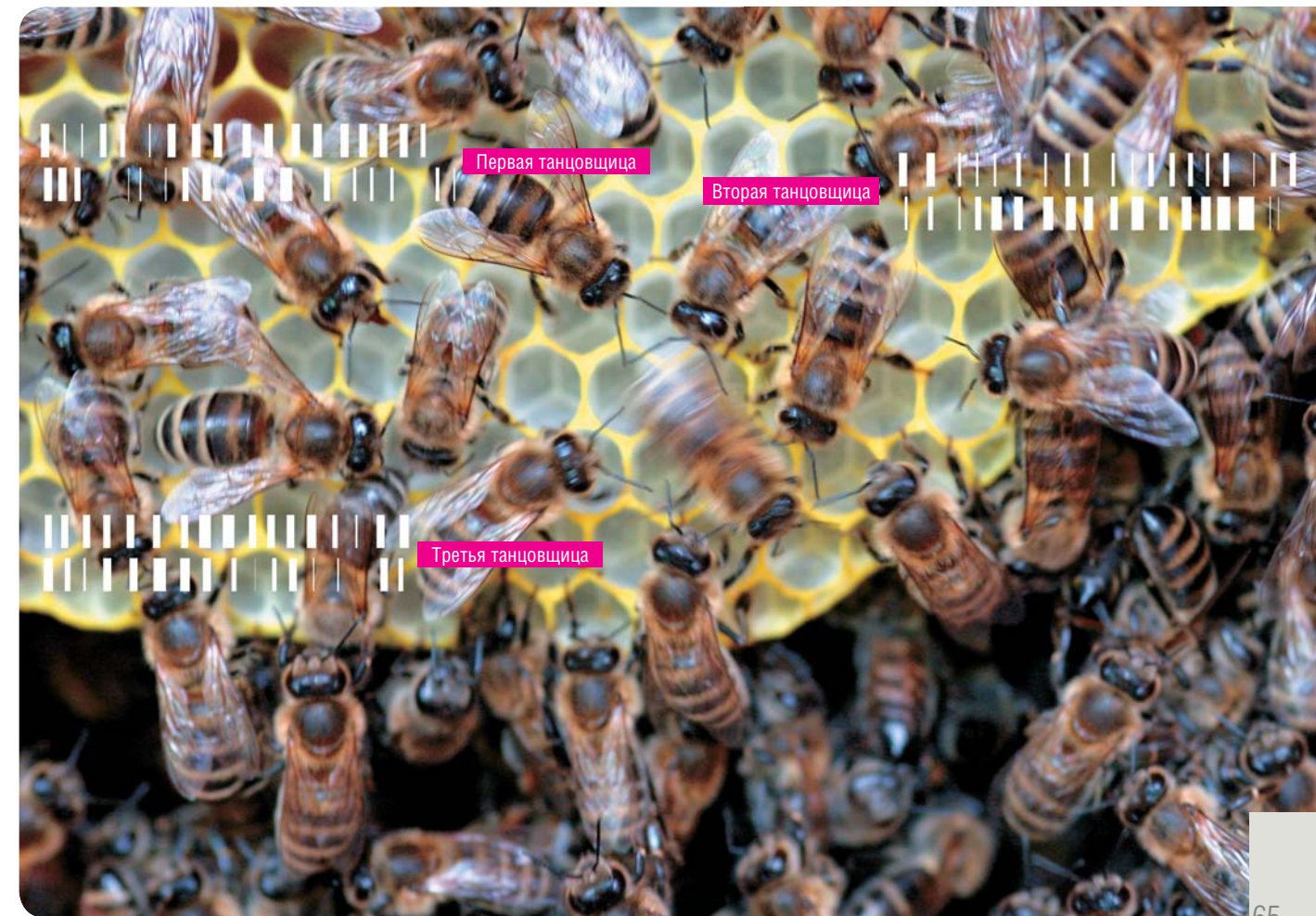
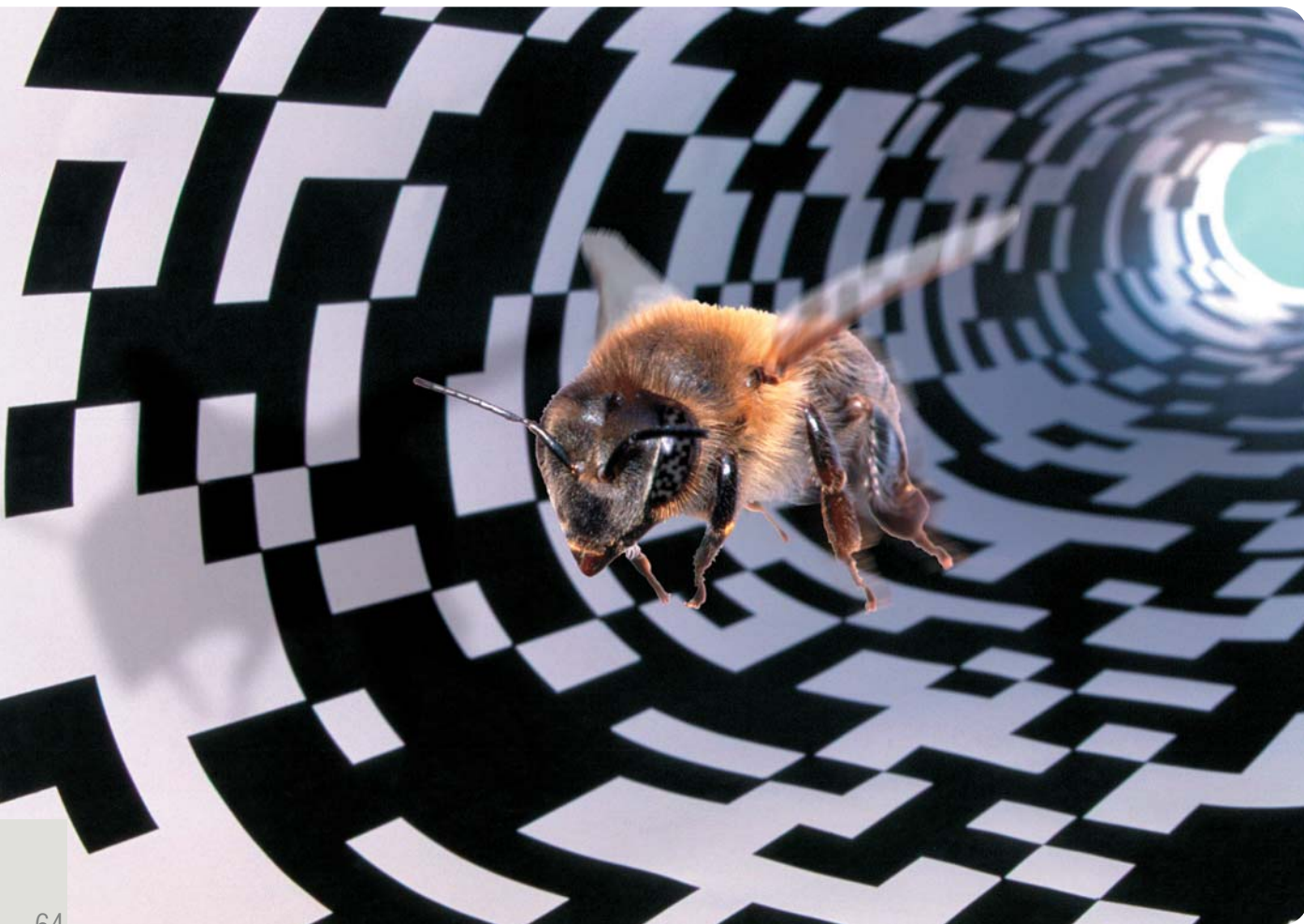
Однако что же считается привлекательным источником пищи?

У пчел множество различных впечатлений интегрируется в общую картину. Сюда входят не только качество пищи, но и детали полета к ее источнику: высокая концентрация сахара в нектаре усиливает оживленность танца, сложности на пути, такие как сильный ветер, явные угрозы со стороны врагов или узкие

подходы к источнику снижают ее. Более оживленные танцы привлекают большее количество рекрутов, чем менее оживленные, что и привлекает большинство рекрутов к конкретным источникам пищи.

Как же рекруты понимают сообщение танцовщицы? Об этом дает представление ультрамедленное воспроизведение скоростной виде-

Танцы пчел происходят практически всегда на небольшом участке рядом с летком. На этом «танцполе», явно химически помеченном пчелами, пчелы-танцовщицы встречаются с пчелами-сборщицами, которым интересны их сообщения. Если этот участок сот вырезать и переместить в другое место улья, пчелы будут искать его, пока не найдут на новом месте, прежде чем снова исполнить свой танец (Tautz, 1997)



Целевая вербовка новичков

Помимо информации о его расположении, пчела-танцовщица передает и другие важные детали об источнике пищи и маршруте полета. Более привлекательные источники отображаются в более оживленных танцах, в которых пчела-танцовщица завершает фазу возврата к исходной точке виляющей фазы очень быстро, в то время как менее оживленный танец характеризуется более медленным возвратом. На длительность виляющей

Пчелы-сборщицы, обученные летать через узкие туннели с узорчатыми стенками, по пути к источнику пищи наблюдают быструю смену образов, как если бы они летели вдоль стены. Получающееся в результате высокое оптическое течение порождает виляющий танец, в котором неверно представлено истинное расстояние

осъемки. Рекруты используют свои антенны для оценки амплитуды движений, кодирующих направление и расстояние в повторяющейся последовательности движений танца. Во время танца правильно расположенные рекруты стоят неподвижно, а их антенны вытянуты жестко вперед под углом в 90–120° друг к другу. При этом они

В темноте улья, партнерши по танцу используют антенны, как незрячие люди — трости, чтобы уловить движения танцовщицы. Ритмические колебания тела танцующей пчелы отбивают виляющий ритм на жестко выставленных вперед антеннах партнерш. Уникальный характер контакта между телом танцовщицы и двумя антеннами партнерши характеризует каждую позицию партнерши относительно танцовщицы. Таким образом, в танце закодирована информация о продолжительности виляющей фазы (расстояние до источника пищи), и положение танцовщицы относительно силы гравитации (направление к источнику пищи)

находятся так близко от танцовщицы, что движения ее брюшка из стороны в сторону ритмично отклоняют их. Во время виляющей фазы обе антенны отклоняются одновременно, если она находится под прямым углом к танцовщице и поочередно, если рекрут находится сзади (Rohrseitz, 1999).

Еще не все вопросы этих интерактивных танцев решены. Как находят друг друга рекруты и танцовщицы в темноте и тесноте танцевальной площадки? Их направляют друг к другу вибрации ячеек. Такие вибрации лучше всего передаются по утолщенным краям ячеек. Их верхний край состоит из валиков, таким образом создается сеть шестиугольных ячеек (Sandeman et al., 1996; Tautz, 1996, 1998, 1999), передающих вибрации исходящие от танцовщицы (Nieh, 2000; Tautz et al., 2001).

Генератор этих вибраций — грудная летная мускулатура, наиболее мощная из мускулов пчелы. Пчела использует их на полную мощность, но крылья ее при этом не связаны и лишь слегка движутся. Летный мотор сокращается и расслабляется не постоянно, а пульсами, которые в большинстве случаев синхронны с максимальными отклонениями брюшка вправо—влево в виляющей фазе. Базовая частота этих вибраций находится между 230 и 270 колебаниями в секунду.

Порой можно наблюдать «немые» танцы, для человека ничем не отличимые от обычных, хотя вибрации летного мотора в них отсутствуют, и такие танцы не привлекают рекрутов, несмотря на то что танцовщица заметно старается. Поразительные виляющие движения, скорее всего, используются как механическая стратегия для передачи вибраций стенкам ячеек через лапки. Легкая танцовщица, стоящая или даже бегающая по краям сот, не смогла бы передать через свои тонкие лапки достаточно энергии ячейкам. Однако во время виляющего движения она цепляется лапками за края ячеек, попеременно раскачивая их вправо и влево. Именно в этот момент, когда края ячейки находятся под максимальным напряжением, пчела передает вибрации сотам.

Многие элементы коммуникации, используемые в образовании мини-роев рекрутов, привлекаемых к источникам пищи, наблюдаются также и при образовании «настоящих» роев. Мини-роевание рекрутов не находится под тем же давлением отбора, что и настоящее роение, поскольку здесь не ставится на карту вся судьба колонии. Истинно роящаяся колония должна быть немедленно направлена к новому дому, или она погибнет. По-видимому, поведение, используемое для привлечения рекрутов к источникам пищи развилось на основе «истинно роящегося» поведения (Tautz, 2002, 2004).

Вербовка новичков к новым источникам корма — это исключительно сложное поведение, при котором пчелы

внутри улья и снаружи вступают в коммуникацию. Цветы предоставляют вспомогательные средства, такие как запахи, впитывающиеся в тело танцующей пчелы, которые, вдобавок к тем, которые приносятся ветром, служат обонятельными сигналами. Если естественных ресурсов достаточно, пчелиная семья будет нормально развиваться даже при условии полного дезориентирования танцев, например в перевернутом улье когда, таким образом, мы устраним силу гравитации в качестве контрольной точки, а следовательно, и способность танцующих пчел передавать информацию о направлении. Колония, находящаяся в окружении достаточного количества равномерно пространственно распределенных ресурсов, не пострадает от такого вмешательства и сможет найти достаточно цветов для удовлетворения своих нужд, находя их с помощью запахов или просто наудачу. Коммуникация посредством танца становится критически важной, когда ресурсы пространственно ограничены и скудны — именно тогда целевая вербовка может существенно увеличить сбор.

Литература

Chittka L., Tautz J. *The spectral input to the honeybee visual odometry* // *J. of Experimental Biology*. — 2002. — N. 206. — P. 2393–2397.

Esch H., Zhang S., Srinivasan M., Tautz J. *Honeybee dances communicate distance by optic flow* // *Nature*. — 2001. — N. 411. — P. 581–583.

Nieh J. C., Tautz J. *Behaviour-locked signal analysis reveals weak 200–300 Hz comb vibrations during the honeybee waggle dance* // *J. of Experimental Biology*. — 2000. — N. 203. — P. 1573–1579.

Rohrseitz K., Tautz J. *Honey bee dance communication: waggle run direction coded in antennal contacts?* // *J. of Comparat. Physiology*. — 1999. — T. A, N. 184. — P. 463–470.

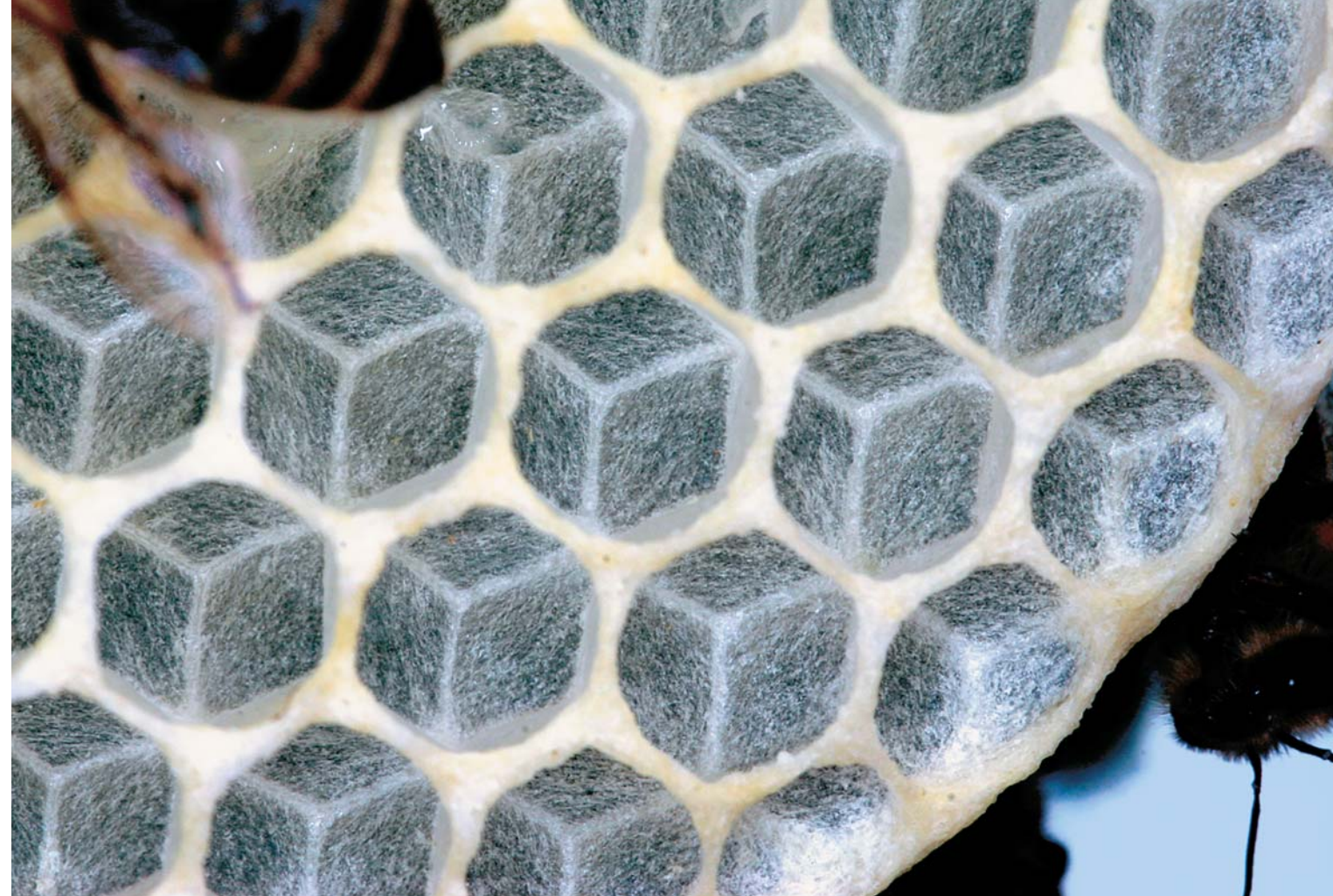
Sandeman D. C., Tautz J., Lindauer M. *Transmission of vibration across honeycombs and its detection by bee leg receptors* // *J. of Experimental Biology*. — 1996. — N. 199. — P. 2585–2594.

Sen Sarma M., Esch H., Tautz J. *A comparison of the dance language in Apis mellifera carnica and Apis florea reveals striking similarities* // *J. of Comparat. Physiology*. — 2003. — T. A, N. 190. — P. 49–53.

Spaethe J., Tautz J., Chittka L. *Visual constraints in foraging bumble bees: flower size and color affect search time and flight behaviour* // *Proceedings of the Nation. Acad. of Sci. USA*. — 2001. — N. 98. — P. 3898–3903.

Srinivasan M. V., Zhang S. W., Altwain M., Tautz J. *Honeybee navigation: nature and calibration of the «odometer»* // *Science*. — 2001. — N. 287. — P. 851–853.

Tautz J. *Honeybee waggle dance: recruitment success depends on the dance floor* // *J. of Experimental Biology*. — 1996. — N. 199. — P. 1375–1381.



Тонкие стенки восковой ячейки сот заканчиваются по своим верхним краям утолщенным валиком. Вместе они формируют непрерывную ячеистую сеть, которая лежит на поверхности стенок ячеек. Благодаря вибрации ячеек танцовщицы и рекрутеры в темноте и тесноте улья находят друг друга

Tautz J. *A comb-wide web* // *Science*. — 1999. — N. 286. — P. 2272–2273.

Tautz J., Bujok B. *Bee dance. Encyclop. of Language and Linguistics*. — Elsevier, 2004.

Tautz J., Lindauer M. *Honeybees establish specific sites on the comb for their waggle dances* // *J. of Comparat. Physiology*. — 1997. — T. A, N. 180. — P. 537–539.

Tautz J., Rohrseitz K. *What attracts honeybees to a waggle dancer?* // *J. of Comparat. Physiology*. — 1998. — T. A, N. 183. — P. 661–667.

Tautz J., Sandeman D. C. *Recruitment of honeybees to non-scented food sources* // *J. of Comparat. Physiology*. — 2002. — T. A, N. 189. — P. 293–300.

Tautz J., Casas J., Sandeman D. C. *Phase reversal of vibratory signals in honeycomb may assist dancing honeybees to attract their audience* // *J. of Experimental Biology*. — 2001. — N. 204. — P. 3737–3746.

Tautz J., Rohrseitz K., Sandeman D. C. *One-strided waggle dance in bees* // *Nature*. — 1996. — N. 382. — 32 p.

Tautz J., Zhang S., Spaethe J. et al. *Honeybee odometry: performance in varying natural terrain* // *PLOS*. — 2004. — N. 2. — P. 0915–0923.

Благодарности:

Аспекты биологии медоносных пчел, отраженные в этой статье, во многом основываются на результатах исследований и наблюдениях студентов и приглашенных исследователей, работавших в составе исследовательской группы по поведению пчел. Я хочу выразить им свою глубокую благодарность. Иллюстрации взяты из книги «Феномен медоносной пчелы» (Автор: Ю. Тауц; иллюстрации: Хельга Р. Хейльманн. Издательство: Spektrum, 2007), за что я хочу также поблагодарить издательство Spektrum-Springer.

В публикации использованы фото Хельги Р. Хейльманн