



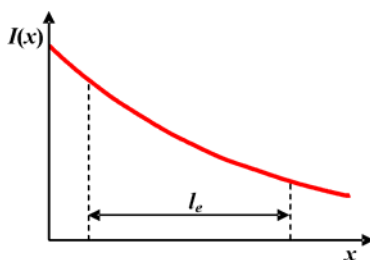
Jakie barwy widzą pszczoły?

Jerzy Ginter
Uniwersytet Warszawski

Jeżeli promieniowanie elektromagnetyczne przechodzi przez substancję, jego natężenie I maleje z głębokością wnikania x wykładniczo¹. Oznaczmy symbolem l_e długość, po której natężenie promieniowania zmaleje o czynnik² $e \approx 2,72$ (rys. 1). Współczynnikiem absorpcji α nazywamy odwrotność l_e :

$$\alpha = \frac{1}{l_e}.$$

Jeżeli l_e wyrazimy w centymetrach, α ma wymiar cm^{-1} .



Rys. 1.

Na wykresie rys. 2 przedstawiona jest zależność współczynnika absorpcji wody α od długości fali promieniowania elektromagnetycznego³ λ .

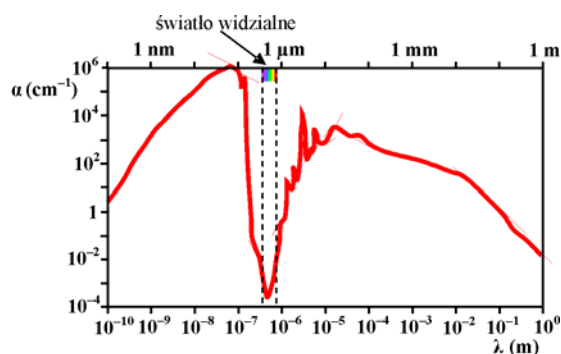
1. Na osi poziomej długość fali λ zmienia się:
 - od $10^{-10} \text{ m} = 0,1 \text{ nm} = 1 \text{ \AA}$, czyli od zakresu promieni Röntgena,
 - do 1 m, czyli radiowych fal ultrakrótkich,
 - poprzez nadfiolet, promienie widzialne i podczerwień.
2. Na osi pionowej odkładany jest współczynnik absorpcji promieniowania α . W szczególności:
 - Jeżeli współczynnik absorpcji jest równy 1 cm^{-1} , natężenie promieniowania maleje o czynnik e na głębokości 1 cm.

¹ Uwaga! Interesuje nas to, co się dzieje **wewnątrz** substancji. Nie bierzemy pod uwagę odbicia od powierzchni.

² Liczbę e nazywamy **podstawą logarytmu naturalnego**.

³ Jest to nieco zmodyfikowany wykres z książki Johna Davida Jacksona *Elektrodynamika klasyczna* PWN 1982.

- Jeżeli współczynnik absorpcji jest równy 10^6 cm^{-1} , natężenie promieniowania maleje o czynnik e na głębokości $10^{-6} \text{ cm} = 10^{-8} \text{ m} = 10 \text{ nm}$.
- Jeżeli współczynnik absorpcji jest równy 10^{-4} cm^{-1} , natężenie promieniowania maleje o czynnik e na głębokości $10^4 \text{ cm} = 100 \text{ m}$.



Rys. 2.

My sami i ogromna większość zwierząt mamy oczy z elementami optycznymi złożonymi w ogromnym procencie z wody. Takie oczy mogą działać w zakresie widmowym, w którym współczynnik absorpcji α jest istotnie mniejszy od jedności. Jest to zakres od około $0,2 \mu\text{m}$ do około $1 \mu\text{m}$. W pozostałych zakresach oczy wodne są po prostu nieprzezroczyste. Oczy ludzkie działają właśnie w tym obszarze: od $0,4 \mu\text{m}$ (fiolet) do $0,7 \mu\text{m}$ (czerwień); jest ono zaznaczone na wykresie (rys. 2) pionowymi liniami przerywanymi. Układ barw widzianych przez człowieka wskazuje strzałka w górnej części wykresu.

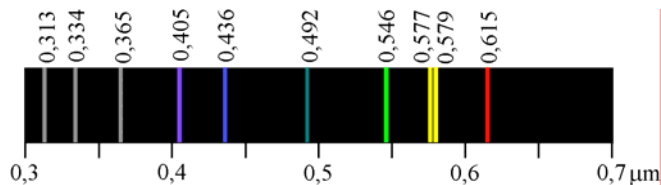
Widać jednak z wykresu, że możliwy jest także zakres widzenia nieco różny od ludzkiego. Na przykład pszczoły nie widzą naszej barwy czerwonej ($\lambda > 0,65 \mu\text{m}$). Widzą natomiast promieniowanie nadfioletowe w zakresie od $0,3 \mu\text{m}$. Wykazano to w pierwszej połowie poprzedniego stulecia za pomocą następującego eksperymentu⁴:

W ciemnym pomieszczeniu wytwarzano na stole widmo silnej lampy rtęciowej za pomocą pryzmatu, przepuszczającego nie tylko światło widzialne, ale i nadfiolet⁵. Widmo takie przedstawia schematycznie rysunek 3. Linie nadfioletowe, niewidziane przez człowieka, to pierwsze trzy linie widma od lewej. Pszczoły mogły dostawać się do pomieszczenia przez niewielkie okienko.

1. W czasie tresury zasłaniano wszystkie linie widmowe z wyjątkiem jednej, na której ustawiano podłużną wanienkę z bezwonnym syropem.

⁴ Opis przytoczony za książką Jana Dembowskiego *Psychologia zwierząt*, Czytelnik 1950.

⁵ Piękna fotografia widma rtęci w obszarze widzialnym: *Mercury (element)*, Wikipedia.

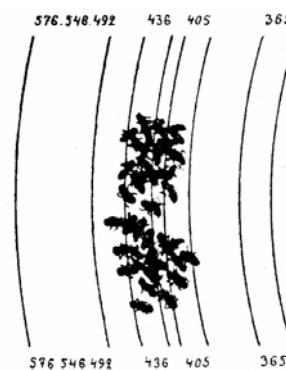


Rys. 3.

2. Po wytresowaniu pszczół na określoną barwę wytwarzano na stole całe widmo, nie umieszczając jednak nigdzie pokarmu – i obserwowano zachowanie pszczół.

Wyniki doświadczenia były następujące:

1. Pszczoły wytresowane na pewną barwę poszukiwały pokarmu w zasadzie na tej właśnie linii widmowej i skupiały się na niej, mimo że pokarmu tam nie było⁶. Ilustruje to rysunek 4, pszczoły były wytresowane na barwę fioletową 0,405 μm . Czarne łuki przedstawiają schematycznie położenie linii widmowych na stole.
2. Pszczoły nie odróżniały jednak światła zielonego (0,546 μm) i żółtego (0,577 μm i 0,579 μm). Nie odróżniały też światła fioletowego i niebieskiego (0,405 μm i 0,436 μm).
3. Można było podobnie wytresować pszczoły na linii nadfioletowe 0,365 μm , 0,334 μm i 0,313 μm .
4. Późniejsze podobne badania wykazały, że pszczoły nie widzą światła o długościach fali $\lambda > 0,65 \mu\text{m}$, które człowiek odbiera jako barwę czerwoną.
5. Nie miało znaczenia natężenie światła, pszczoły poznawały barwę niezależnie od jasności linii widmowych.



Rys. 4.



Rys. 5.

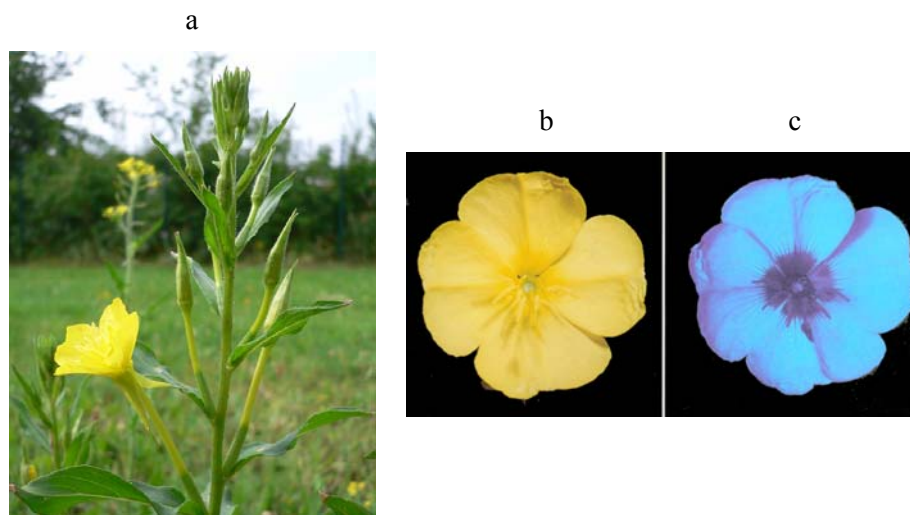
Z faktem, że pszczoły widzą w nadfiolecie, związane jest zabarwienie kwiatów. Wiele z nich ma wyraźny promienisty rysunek, wskazujący na położenie nektaru. Przykładem może być kwiat ślazu⁷ (rys. 5). Są jednak kwiaty, które w świetle widzialnym dla człowieka takiego rysunku nie mają. Przykładem może być popularny chwast wiesiołek⁸, zwany w okolicach Warszawy „noc-

⁶ Rysunek z cytowanej książki Dembowski.

⁷ Śláz dziki *Malva silvestris*.

⁸ Wiesiołek dwuletni *Oenothera biennis*.

ną świecą” (rys. 6a i b). Okazuje się jednak, że wiesiołek ma wyraźny rysunek w nadfiolecie, co pokazuje fotografia wykonana w tym zakresie widmowym⁹ (rys. 6c).



Rys. 6.

Pozostaje jeszcze wyjaśnić, po co rośliny wytwarzają kwiaty czerwone, jeżeli pszczoły barwy czerwonej nie widzą? Okazuje się, że kwiaty zapylane przez pszczoły mają w swoim zabarwieniu domieszkę barwy niebieskiej (jak dzikie goździki) lub nadfioletu (jak mak). Zatem pszczoły widzą je jako niebieskie lub nadfioletowe. Istnieją kwiaty o barwie czerwonej, niewidocznej dla pszczół – ale te są zapylane na przykład przez ptaki.

⁹ Fotografia z książki Davida Attenborougha *Prywatne życie roślin*, Muza 1996.