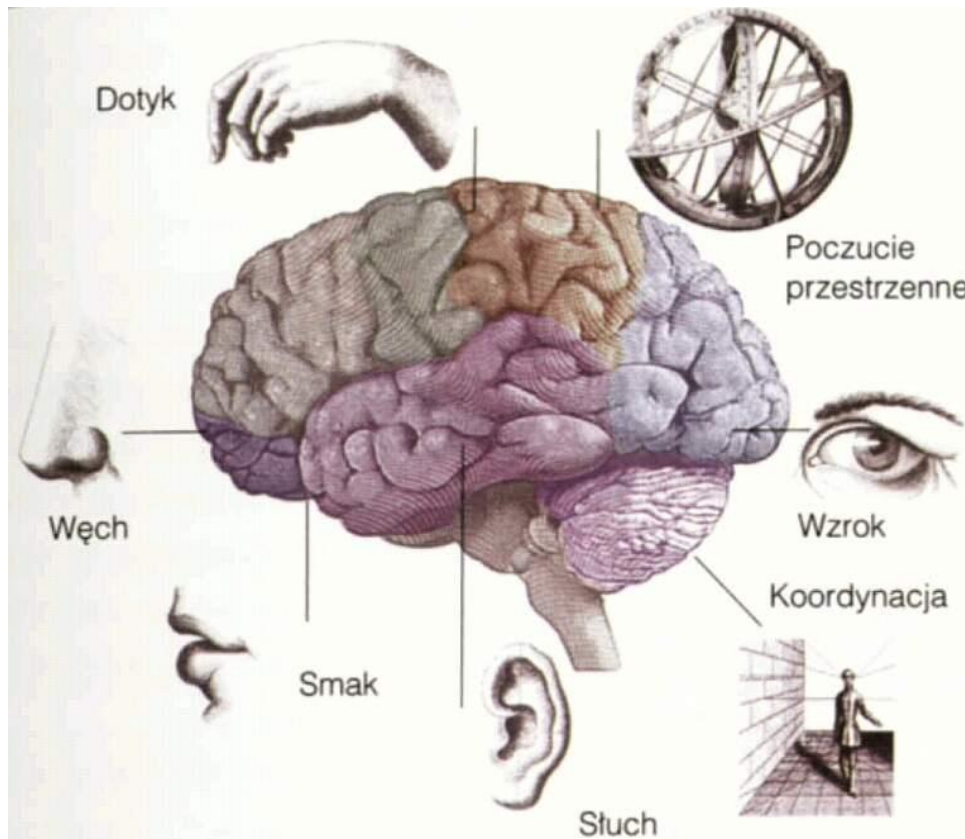


# ZMYSŁY A FUNKCJA LOGARYTMICZNA



# ZMYSŁY A FUNKCJA LOGARYTMICZNA

*„Niewiele rzeczy możemy pojąć wszystkimi pięcioma zmysłami”  
/Georg Christoph Lichtenberg/*



Małgorzata Popiel  
Aleksander Siwiński  
Karol Piskunowicz

Tytuł oryginału:

Zmysły a funkcja logarytmiczna.

Praktyczne zastosowanie prawa Webera-Fechnera.

Copyright ©2012 by Małgorzata Popiel, Aleksander Siwiński, Karol  
Piskunowicz

Wydawnictwo PSP, Słupsk

Wydanie pierwsze

Słupsk, 2012

## Od Autorów

Czy zastanawiałeś się kiedyś drogi Czytelniku, jak wyglądałby Twój świat, gdybyś nagle stracił swoje narządy zmysłów? Prawdopodobnie wcale by nie wyglądał, bo ani to zobaczyć twarzy najlepszego przyjaciela, ani posłuchać ulubionej muzyki, jedzenie straciłoby swój zapach i smak i nie dałoby się ukoić żalu przez przytulenie najbliższej osoby. Wizja jak z horroru, bo życie nawet nie tyle, że nie byłoby możliwe, że względu na brak kontaktu z otoczeniem, ale byłoby z pewnością bardzo smutne, pozbawione tych wszystkich doznań, do których mamy dostęp na co dzień. Zmysły pozwalają nam na orientację w otaczającym nas świecie, na zdobywanie informacji i wiedzy o nim. No tak, ale skąd mamy wiedzieć, czy rzeczywistość, którą odbieramy narządami zmysłów jest tak naprawdę tożsama ze światem zewnętrznym? Że kolory, dźwięki i inne wrażenia nie są wytworem naszego mózgu? Wszyscy zgodzimy się, że wrażenia powstają w ośrodkowym układzie nerwowym, po dotarciu do niego informacji powstałej w zmysłach na skutek zadziałania określonego bodźca. Ale mózg przecież nie może poczuć zapachu skoszonej trawy ani zobaczyć blasku księżycą nocą. Jest zamknięty w czaszce i nie ma możliwości bezpośredniego kontaktu ze światem. Interpretuje go jednak pośrednio za pomocą impulsów nerwowych pochodzących z narządów zmysłów. To, czego doświadczamy jest więc interpretacją świata powstałą za pośrednictwem receptorów czuciowych i mózgu. A ponieważ nasze zmysły reagują na bodźce w sposób logarytmiczny, to nie odczuwamy różnicy między intensywnością bodźców dokładnie tak jak jest w rzeczywistości. Wyobraźmy sobie, że słuchamy muzyki. Dźwięk ma siłę 50 decybeli, jednak jako głośniejszy będziemy mogli określić dźwięk o sile 55, a nie na przykład 53 dB. W naszej pracy wyjaśnimy dlaczego tak się dzieje i czy ma to jakieś konsekwencje. Zapraszamy do podróży z nami w świat psychofizyki i odkrywania tajemnic związanych z umiejętnością postrzegania świata.



## Spis treści:

1. Streszczenie.....	6
2. Summary.....	8
3. Wprowadzenie .....	10
4. Narządy zmysłów.....	11
5. O postrzeganiu.....	12
6. Psychofizyka.....	13
6.1. Funkcja logarytmiczna.....	13
6.2. Prawo Webera – Fechnera.....	15
7. Zmysł słuchu.....	17
7.1. Budowa.....	18
7.2. Biofizyka słuchu.....	20
7.3. Odbieranie bodźców słuchowych.....	21
7.4. Natężenie dźwięku.....	22
7.5. Zastosowanie w medycynie.....	24
8. Zmysł wzroku.....	27
8.1. Budowa.....	27
8.2. Jak powstaje obraz?.....	29
8.3. Postrzeganie światła przez człowieka.....	31
8.4. Praktyczne zastosowanie.....	31
9. Zmysł węchu.....	32
9.1. Budowa.....	33
9.2. Budowa nosa psa.....	34
9.3. Olfaktometria.....	35
9.4. Osmologia.....	36
10. Zmysły – czyli o tym, czego na pierwszy rzut oka nie widać.....	39
11. Bibliografia.....	43

## Streszczenie

Zmysł jest systemem fizycznym, który zbiera dla mózgu informacje, zarówno ze świata zewnętrznego, jak i z wnętrza organizmu, a następnie przetwarza odebrane bodźce na język zrozumiały dla mózgu, czyli przekształca energię bodźca w impulsy nerwowe. Wyróżniamy zmysł wzroku, słuchu, węchu, smaku, dotyku, możemy mówić jeszcze o czuciu bólu i propriocepcji (określaniu pozycji własnego ciała). Wszystkie zmysły zbudowane są ze specjalistycznych struktur komórkowych, które mają receptory dla określonych bodźców i wszystkie spełniają tę samą funkcję – dostarczają nam informacji na temat otaczającego nas świata. Każdy z nich jednak ma inną budowę, wykorzystuje inną postać energii bodźców i przesyła informacje do odmiennych części mózgu.

Informacja przekazana przez bodziec dociera do odpowiedniej części ośrodkowego układu nerwowego, gdzie rejestrowana jest jako określone wrażenie. Wrażeniem nazywamy pojedynczą cechę danego przedmiotu odzwierciedloną przez receptory człowieka, np. barwa, kształt, ciężar. Gdy mózg przetworzy dane z narządów zmysłów powstaje spostrzeżenie. Percepcja więc, czyli proces rejestrowania i interpretowania informacji odebranych przez zmysły (proces poznawania), składa się niejako z trzech etapów: odbiór wrażeń, organizacja percepcyjna (powstaje spostrzeżenie bodźca zewnętrznego) oraz identyfikacja (rozpoznanie) przedmiotów, czyli nadawanie spostrzeżeniom znaczenia.

Odbiór bodźców zależy od ich intensywności. Receptor nie reaguje na bodźce zbyt słabe, a zbyt silne mogą spowodować uszkodzenie narządu zmysłu. Inną zdolnością w procesach poznawczych jest umiejętność stwierdzania różnicy między siłą działających bodźców. Najmniejszą wykrywalną różnicę między dwoma bodźcami nazywamy progiem różnicy. Weber ujął w prawo zależność między siłą bodźca a intensywnością czucia. Głosi ono, że wielkość progu różnicy w intensywności bodźca jest proporcjonalna do intensywności tego bodźca. Fechner ujął matematycznie twierdzenie odkryte przez Webera, głosząc, że zależność między bodźcem a percepcją jest logarymiczna, to znaczy, że gdy siła bodźca rośnie w postępie geometrycznym to wielkość wrażenia zwiększa się w postępie arytmetycznym.

Obie zależności można przedstawić jako jedno prawo Webera-Fechnera, które mówi, że intensywność wrażenia wzrasta proporcjonalnie do wartości logarytmu intensywności bodźca.

$$W=k \cdot \log B$$

W-wrażenie, B- bodziec, k- stała

Prawo to znajduje szerokie zastosowanie między innymi w medycynie, kryminalistyce czy olfaktometrii.

**Słuch** to zdolność do odbierania przez człowieka i zwierzęta fal dźwiękowych zw. akustycznymi (fale sprężyste). Fala akustyczna wprawia błonę bębenkową w drgania o częstotliwości odpowiadającej wysokości tonu. Aparatem zmysłu słuchu jest ucho, które można podzielić na: ucho zewnętrzne (małżowina uszna, przewód słuchowy zewnętrzny, powierzchnia zewnętrzna błony bębenkowej), ucho środkowe (błona bębenkowa, trzy kosteczki słuchowe, trąbka Eustachiusza) i ucho wewnętrzne (ślimak, trzy kanały półkoliste, nerw słuchowy). Właściwy receptor odbierający fale akustyczne znajduje się w uchu wewnętrznym. To właśnie tam zachodzi przetwarzanie fal akustycznych na impulsy nerwowe. Drgania powietrza, które w działaniu na ludzkie ucho wywołują wrażenia słuchowe, mają bardzo szeroki zakres od ok. 16 Hz do ok. 20 000 Hz. Cechy dźwięku możemy podzielić na obiektywne (natężenie, częstotliwość) oraz subiektywne (głośność, wysokość, brawa).

Poziom natężenia dźwięku (w decybelach) możemy obliczyć stosując wzór:

$$L = 10 \log I / I_0$$

Do pomiaru progu słyszenia służy audiometria tonalna umożliwiająca wykrycie ubytku słuchu.

**Wzrok** to zdolność odbierania bodźców wywołanych przez określony zakres promieniowania elektromagnetycznego. Informuje nas o wyglądzie rozmaitych obiektów i ich położeniu. Narządem wzroku jest oko, a receptory znajdują się w siatkówce, gdzie powstaje obraz. Siatkówka składa się z dwóch rodzajów komórek: czopków i pręciki. Czopki są wrażliwe na postrzeganie barw i skoncentrowane są w tak zwanej plamce żółtej. Pręciki natomiast nie są wrażliwe na kolory, natomiast są bardziej czułe na natężenie światła. Od natężenia światła zależy jego jasność dla odbiorcy. Człowiek postrzega światło logarytmicznie.

Prawo Webera-Fechnera dla oka: dostrzegalny dla zmysłu wzroku przyrost natężenia promieniowania jest proporcjonalny do natężenia już działającego.

**Węch** to przykład zmysłu chemicznego. Pozwala na odczuwanie zapachów, a także spełnia wyższe funkcje tj. identyfikacja i zapamiętywanie zapachów. U zwierząt ostrzega przed niebezpieczeństwem, pomaga w zdobyciu pokarmu i komunikacji z otoczeniem. Narządem węchu jest nos, a receptory węchowe znajdują się w górnej części jamy nosowej. Zapachy występujące w otoczeniu człowieka znikają z różną szybkością w miarę rozcieńczenia czystym powietrzem. Zależność tę opisuje logarytmicznie prawo Webera-Fechnera:

$$S = k \cdot \log(c/c_{th})$$

S- intensywność zapachu, k- stała,  $c_{th}$  – próg wyczuwalności zapachu

## Summary

The sense is a physics system which provides data both from the outside world and from the inside of an organism. Then it transforms the stimuli into language intelligible for the brain, which means that the energy of the stimulus is transduced into nerve impulses. We have the sense of sight, hearing, smell, taste, touch, we can also say about pain feeling and proprioception (the sense of the orientation of one's limbs in space). All of the senses consist of organs with specialized cellular structures which have receptors for specific stimuli and all of them play the same role. They give us information about the world we live in. However, each of them has different structure, uses different form of the energy of the stimulus and gives data to different parts of the brain.

The information transmitted by a stimulus goes to the appropriate part of the central nervous system, where it is detected as a sensation. The sensation is a feature of the given object reflected by the senses, for example a color, a shape, a weight. When the brain transforms the data from senses a perceiving comes into existence. The perception, which is the process by which an organism detects and interprets some information from the external world by means of the sensory receptors (the process of cognition), consists of three stages,,: receiving the sensations, perceiving of the stimuli and identifying the objects.

The receiving of the stimuli depends on their magnitudes. The receptor does not react to too weak stimuli and too strong stimuli can injure the sense organ. Another important ability, in the process of cognition, is to differentiate between magnitudes of the stimuli. The least noticeable difference between two stimuli is called differential threshold. Weber encapsulated as a law the relationship between the strength of the stimuli and the feeling of the magnitude. This law states that the least noticeable difference between two stimuli is proportional to the magnitude of the stimuli. Fechner presented Weber's theorem in mathematic way and promoted that the relationship between stimuli and perception is logarithmic, which means that if the strength of the stimulus raises as a geometric progression, the corresponding perception increases in an arithmetic progression.

Both theorems can be presented as one Weber-Fechner law, which states that the magnitude of the sensation rises proportionally to the logarithm of magnitude of the stimulus.

$$W=k \cdot \log B$$

W-sensation, B-stimulus, k-constant factor

The Weber-Fechner law finds application among others in medicine, forensics and olfaktometry.



**The hearing** is the ability to receive sound, called acoustic waves, by the man and animals. The acoustic wave makes the ear drum vibrate. The vibrations have the same frequency as pitch. An organ of the hearing is an ear which we can divide into external ear (auricle, acoustic meatus, external surface of the ear drum), middle ear (ear drum, three auditory ossicles, Eustachian tube) and inner ear (cochlea, semicircular canals, auditory nerve). In the inner ear there is the right receptor which receives acoustic waves. In this place acoustic waves are transduced into nerve impulses. The air vibrations, that stimulate the auditory sensations, are broad in scope of frequencies from about 16 Hz to about 20 000 Hz. The characteristics of sound can be divided into objective (pressure, frequency) and subjective (volume, pitch, timbre).

The level of the sound pressure (in decibels) can be calculated by using the formula:

$$L=10\log I/I_0$$

To measure the level of the sound pressure tonal audiometry, which can uncover the hearing damages, is used.

**The sight** is the ability to receive stimulus induced by appropriate range of the electromagnetic radiation. It informs us about the appearance of many objects and about their location. An organ of the sight is an eye and the picture is created in a retina where the receptors are located. The retina consists of two types of light-sensitive cells - rods and cones. The cone cells are sensitive to color and are concentrated in the part of the retina called the yellow fovea. The rod cells are not sensitive to color, but they have greater sensitivity to light. The brightness depends on the magnitude of light. The man perceives the light logarithmically. The Weber-Fechner law on the eye: the growth of radiation magnitude, which is perceptible for sight, is proportional to the current magnitude.

**The smell** is an example of chemical sense. It allows feeling different smells. It also acts higher roles like identifying and remembering the smells. For animals this sense alerts to a danger, helps with finding food and communicating with the environment. An organ of the smell is a nose. The smell receptors are in the upper part of nose cavity. Smells appearing in man's surrounding vanish with different velocity with the dilution by clean air. This relationship is described by the logarithmic Weber-Fechner law:

$$S = k_{WF} \log(c/c_{th})$$

S-intensity of smell, k-constant factor,  $c_{th}$  –smell sensation threshold

# Wprowadzenie

## Czyli jak ma się funkcja logarymiczna do świata, który odbieramy za pomocą zmysłów?

Przedstawiany temat zagłębia się w różne dziedziny nauki, takie jak matematyka, biofizyka, fizjologia i psychologia człowieka. Szczególnie mocno dotyczy psychofizyki, która zajmuje się badaniami nad relacjami pomiędzy fizycznymi cechami bodźców a wrażeniami, jakie one wywołują. Okazuje się bowiem, że nasze doznania związane z postrzeganiem świata zewnętrznego są nie tylko subiektywne, czyli odczuwane przez każdego z nas na swój własny sposób, ale intensywność doznania, które wywołuje u nas określony bodziec, stanowi funkcję logarytmu intensywności tego bodźca. W skrócie nie postrzegamy świata w sposób liniowy, ale zgodnie z prawem Webera - Fechnera percepcja w postępie arytmetycznym zależy od geometrycznego postępu faktów fizycznych. Do określenia postrzegania stosujemy więc skalę logarymiczną. Wiąże się to z konsekwencjami naszego patrzenia na świat. Na przykład co ciekawe bardzo łatwo możemy rozpoznać niewielkie zmiany słabego bodźca, natomiast bodźce intensywne muszą zmieniać się dużo silniej, by te zmiany zostały zauważone. Nasze wrażenia zmysłowe nie odtwarzają więc wiernie zmian zachodzących w świecie fizycznym. Jakie to ma dla nas znaczenie i jak to się w ogóle dzieje, że potrafimy odebrać jakiegokolwiek bodźce ze świata zewnętrznego? Dlaczego słyszymy, widzimy, coś odczuwamy? Natura obdarzyła nas narządami zmysłów, byśmy mogli komunikować się z otaczającym nas światem, poznawać go, wykrywać zagrożenia i po prostu żyć. Ale to nasz mózg, po przekształceniu zarejestrowanych bodźców na język zrozumiały dla układu nerwowego, porządkuje nadsyłane informacje i próbuje odgadnąć, co oznaczają. W naszej pracy przybliżymy bliżej pojęcie percepcji i zagadnienie prawa Webera – Fechnera, a także opiszemy zastosowanie tego prawa dla wybranych przez nas zmysłów – słuchu, wzroku i węchu.



*„Każdy z nas jest więźniem własnych narządów zmysłów. Czy wiemy, jak ktoś drugi widzi jabłko, jak je czuje i jak mu ono smakuje? Nie dowiemy się tego, dopóki nie będziemy mieć dostępu do mózgu drugiego człowieka.”*

*/Isaac Asimov/*

# Narządy zmysłów

Receptory i narządy zmysłów służą do odbierania bodźców z otoczenia i przekazywania ich do ośrodkowego układu nerwowego. Bodźce dochodzące do kory mózgowej są odczuwalne jako wrażenia – światła, dźwięku, zapachu itd. Ponieważ narządy zmysłów służą do kontaktu organizmu ze światem zewnętrznym i poznawania jego cech, wszystkie te narządy, chociaż bardzo różniące się od siebie, ujmujemy w jeden układ narządów zmysłów.

W praktyce wyróżniamy 5 podstawowych zmysłów: wzroku, słuchu, węchu, zapachu i dotyku. Niejednokrotnie pojawiają się spekulacje na temat szóstego, a nawet siódmego zmysłu, którymi rzekomo mogą być obdarzeni niektórzy z nas. Jest to jednak rodzaj jakiejś dodatkowej wrażliwości psychicznej czy intuicji, które nie znajdują potwierdzenia w biologii. Zmysły człowieka działają w różny sposób, możemy wyróżnić na przykład zmysły chemiczne (węchu i smaku), które rejestrują cząsteczki chemiczne obecne w powietrzu czy w pożywieniu. Wzrok jest przykładem zmysłu, który umożliwia rozpoznawanie fal elektromagnetycznych w zakresie światła widzialnego, a słuch natomiast odbiera fale dźwiękowe. Mimo tej różnorodności wszystkie one pozwalają nam normalnie funkcjonować w otaczającym nas świecie.

Zmysły mają jeszcze jedną ważną funkcję. Absorbujące jest, dlaczego nasze receptory odbierają niektóre bodźce, a na inne są niewrażliwe? Możemy na przykład wyczuć gorzki smak pewnych trucizn już w bardzo małych stężeniach, ale dla porównania nasz zmysł smaku jest praktycznie niewrażliwy na substancje, które są dla nas obojętne, między innymi na celulozę. Węch człowieka jest niewrażliwy na gazy, których wykrycie nie ma dla nas praktycznego znaczenia (np. azot), ale silnie reaguje na bodźce mające dla nas znaczenie biologiczne, na przykład na zapach gnijącego mięsa. Funkcją układów sensorycznych nie jest tyle zbieranie wszystkich informacji o świecie, ile wyszukiwanie takich bodźców, które mają dla organizmu znaczenie przystosowawcze. Zmysły dostarczają nam te informacje, które są najbardziej przydatne i które pozwalają na przetrwanie.

Zwierzęta różnią się między sobą pod względem rodzaju bodźców, na które są najbardziej uwrażliwione. Na przykład pszczoły i inne owady odbierają fale świetlne o małej długości (ultrafiolet), których nie dostrzegają ludzie. Rzekotki zielone są wyjątkowo wrażliwe na dźwięki o dwu częstotliwościach – 900 Hz i 3000 Hz, które dominują w głosie godowym samców tego gatunku. Zdolności i wyspecjalizowanie układów sensorycznych u poszczególnych gatunków zależą więc od zakresu bodźców, które ma dla nich znaczenie biologiczne. Człowiek na przykład nie może pochwalić się tak dobrym węchem jak pies, ale mamy lepszy wzrok. Nasze zmysły są dostosowane do naszych potrzeb.

Już w starożytności Arystoteles zauważył, że nie ma nic w umyśle, czego przedtem nie byłoby w zmysłach. Zanim nasz mózg obierze i odczyta informację, musi ona do niego dotrzeć poprzez układ nerwowy, który za pomocą zmysłów odbiera bodźce fizyczne. Po przetworzeniu w mózgu danych z narządów zmysłów mówimy o spostrzeżeniu. Ale jak postrzegamy?

# O postrzeganiu

Zdrowi ludzie mają doznania, które są im przekazywane przez narządy zmysłów, mają dostęp do kolorów, dźwięków i innych wrażeń. Ale czy to, co widzą i słyszą, tak naprawdę odpowiada temu, co fizycznie dzieje się przed ich narządami zmysłów?

Na początku należałoby zadać pytanie, jakie właściwości narządów zmysłów i układu nerwowego określają sposób spostrzegania zdarzeń fizycznych przez podmiot. Wszystkie istoty żywe charakteryzują się tym, iż do wiadomości przyjmują niewielki wycinek zdarzeń fizycznych. Każdy narząd zmysłu jest rodzajem filtru, który przepuszcza jedynie niektóre bodźce. Poza tym narządy zmysłów muszą tak zaszyfrować zdarzenia fizyczne, by mogły one być przekazane centralnemu układowi nerwowemu. Ale jak to się dzieje dalej? Możemy wyróżnić trzy podstawowe etapy prowadzące do reakcji: po pierwsze działanie bodźca na receptor zmysłu, dalej zachodzi łańcuch zdarzeń neurologicznych, wywołany przez ten bodziec – energia bodźca zamieniana na sygnał elektryczny, a następnie na impuls nerwowy, a na końcu dochodzi do reakcji na wiadomość.

Istota spostrzeganie polega na tym, że bodźce trafiają na narządy zmysłów. Bodźce te jednak muszą mieć określoną siłę. Zbyt cichy dźwięk czy zbyt niska (wysoka) częstotliwość nie zostaną odebrane przez ucho. Dokładnym badaniem reakcji ludzi na proste bodźce zmysłowe zajęli się w XIX wieku m.in. Ernst Heinrich Weber i Gustav Theodor Fechner. Objasniając poczynione przez siebie obserwacje, wprowadzili oni pojęcia i sformułowali prawa, które do dzisiaj opisują sposób postrzegania świata za pomocą zmysłów.

Jednym z podstawowych pojęć psychofizyki jest pojęcie - próg, czyli najmniejsza, ale już wyczuwalna różnica pomiędzy dwoma bodźcami, spostrzeżonymi narządami zmysłów (tzw. próg różnicy). Próg absolutny natomiast określa najmniejszą energię wymaganą do wywołania reakcji. Weber jako pierwszy ujął w prawo zależność między siłą bodźca a intensywnością czucia. Stwierdził, że człowiek nie jest w stanie ocenić całkowitej wielkości zmian intensywności bodźca (ułamek Webera). Według prawa Webera próg różnicy związany jest ze stosunkiem intensywności jednego bodźca do intensywności drugiego. Fechner natomiast ujął tę zależność w sposób matematyczny, głosząc, że gdy siła bodźca rośnie w postępie geometrycznym to wielkość wrażenia zwiększa się w postępie arytmetycznym. Sformułował on tezę, że intensywność wrażenia stanowi funkcję logarytmu intensywności bodźca. Oznacza to, że rzekoma siła danego wrażenia wzrasta znacznie wolniej niż intensywność bodźca ją wywołującego.

Prawo Webera wyjaśnia też, dlaczego dosyć łatwo przychodzi nam rozpoznawanie niewielkich zmian słabego bodźca, a bodziec intensywny musi zmienić się dużo silniej, by zmiany zostały zaobserwowane. Potwierdza to doświadczenie przeprowadzone w 1978 roku (Coren i in.): do eksperymentu potrzebne są dwie koperty i trzy monety. Do jednej koperty wkładamy jedną monetę, do drugiej – dwie. Gdy obydwie koperty chwycimy za rogi i podniesiemy do góry, to zauważymy wyraźną różnicę wagi. Powtarzamy doświadczenie, wkładając teraz jedną kopertę do lewego, a drugą do prawego buta. Czy po podniesieniu obydwu butów wyczuwamy różnicę? A przecież ona istnieje (jeden i dwie monety). Wynika z tego, że wrażenia zmysłowe nie odtwarzają wiernie zmian zachodzących w świecie fizycznym.

# Psychofizyka

Psychofizyka to nauka zajmująca się mierzaniem związków między właściwościami stymulacji fizycznej a wywoływanymi przez nią wrażeniami. Jej zagadnienia opierają się między innymi na prawie Webera – Fechnera. Ale aby dobrze zrozumieć założenia tego prawa, najpierw należy zapoznać się z matematycznymi podstawami omawianego zagadnienia, czyli teraz trochę o funkcji logarytmicznej.

## Funkcja logarytmiczna

Wielu uczniów (no może oprócz klas typu mat-fiz), gdy słyszy słowo logarytm, od razu widzi skomplikowane matematyczne równania i obliczenia. A przecież nie wymyślono ich po to, by utrudniać życie uczniom. Twórcami teorii logarytmów są Henry Briggs i John Neper. Miały one ułatwiać trudne matematyczne obliczenia, szczególnie w zakresie astronomii. Kiedy w 1614 r. ukazała się praca Johna Nepera o tablicy logarytmów, Henry Briggs, który później stał się propagatorem logarytmów, przed wizytą u Nepera tak napisał do niego w liście:

*"drogi Panie, przedsięwziąłem tę długą podróż po to, by Cię zobaczyć i dowiedzieć się, za jakiego sprytu i dowcipu sprawę pomyślałeś jako pierwszy o tej prześwieatnej pomocy dla astronomii... Ciekaw jestem, dlaczego nikt inny nie wpadł na to wcześniej; wszak, gdy się już rzecz pozna, wydaje się taka prosta."*

**Logarytmem** liczby dodatniej  $b$  przy podstawie  $a \in \mathbb{R}_+ \setminus \{1\}$  nazywamy wykładnik potęgi  $c$ , do której należy podnieść  $a$ , aby otrzymać  $b$ .

$$\log_a b = c \Leftrightarrow a^c = b; a > 0 \text{ i } a \neq 1 \text{ i } b > 0,$$

$a$  - podstawa logarytmu

$b$  - liczba logarytmowana

$c$  - wartość logarytmu

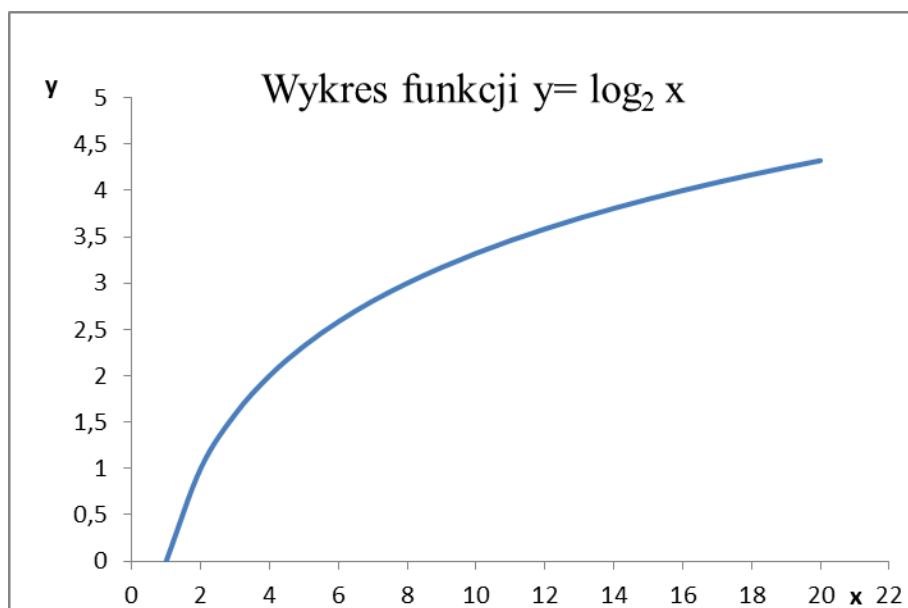
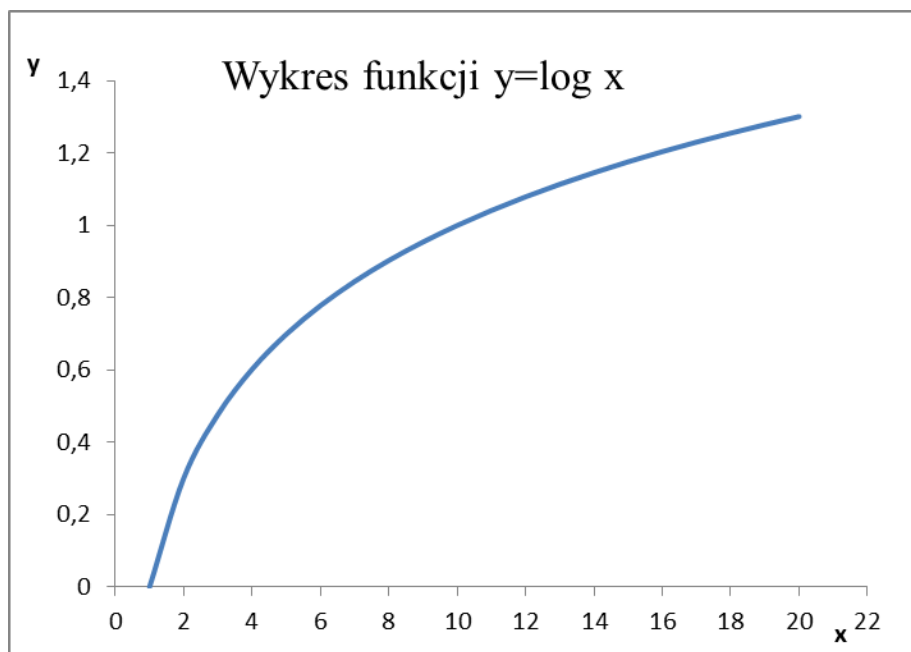
Logarytmowanie polega na obliczaniu wykładnika potęgi, gdy znamy podstawę potęgi i wartość potęgi.

Logarytm o podstawie 10 nazywamy logarytmem dziesiętnym nazywamy **logarytmem dziesiętnym** i zapisujemy:

$$\text{Log}_{10} x = \log x$$

**Funkcja logarymiczna** to funkcja  $f(x) = \log_a x$ , gdzie  $a > 0$  i  $a \neq 1$  i  $x > 0$ . Wykresem funkcji jest krzywa logarymiczna, która ma miejsce zerowe zawsze w punkcie  $x = 1$ , a dziedzina funkcji należy do liczb rzeczywistych dodatnich.

Przykładowe wykresy funkcji logarymicznej:



## Prawo Webera – Fechnera

**Prawo Webera:** wielkość zmiany potrzebnej do spowodowania ledwie dostrzegalnej różnicy (czyli progu różnicy) wzrasta proporcjonalnie do wzrostu wielkości bodźca. Wyraża to równanie:

$$\Delta I = k \cdot I$$

$\Delta I$  – wzrost intensywności bodźca

$I$  – intensywność bodźca działającego

$k$  – stała (niezmienna wartość liczbową zwana ułamkiem Webera)

Poniższa tabela pokazuje ułamki Webera dla różnych bodźców zmysłowych. Im mniejszy ułamek, tym bardziej jesteśmy wrażliwi na różnice w zakresie danej modalności zmysłowej.

Typ bodźca	Ułamek Webera
Szok elektryczny	0,01
Ciężar	0,02
Długość	0,03
Wibracja (odbierana końcem palca)	0,04
Głośność	0,05
Zapach	0,05
Jasność	0,08
Smak (słony)	0,20

**Prawo Fechnera:** różnice między coraz silniejszymi bodźcami fizycznymi muszą być coraz większe, by różnica w zakresie odpowiadających im wrażeń pozostała taka sama.

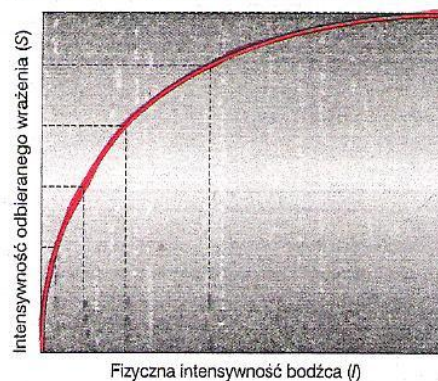
$$S = k \cdot \log I$$

$S$  - wielkość wywołanego przez bodziec wrażenia

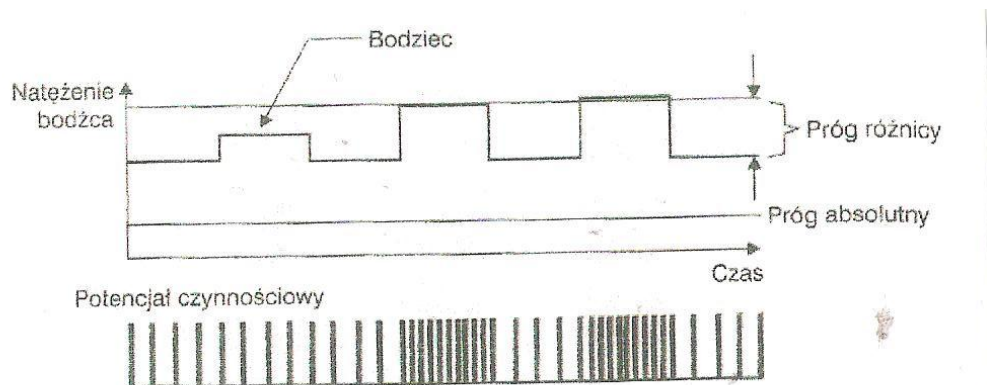
$k$  – stała (oparta na ułamku Webera)

$I$  – fizyczna wielkość bodźca

Według Gustawa Fechnera w miarę wzrastania intensywności fizycznej bodźca coraz trudniej dostrzegamy różnice.

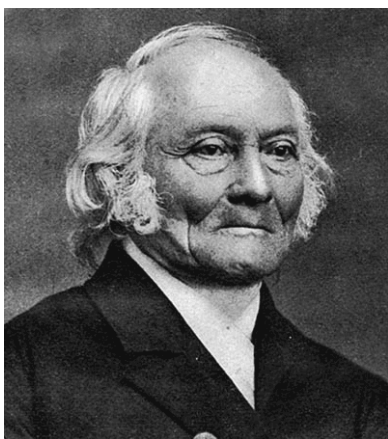


Poniższy rysunek jest interpretacją prawa Webera – Fechnera. Gdy przyrost bodźca jest mniejszy od wartości progu różnicy, to zmiana w intensywności bodźca nie zostanie zauważona.

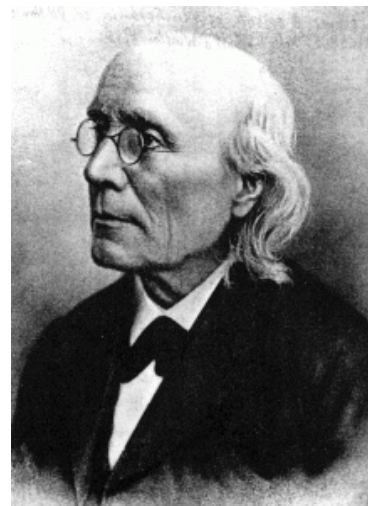


Ryc. 14.21. Efekt zmiany częstotliwości impulsacji wywołują jedynie takie zmiany napięcia bodźca, które spełniają prawo Webera-Fechnera. Stosunek zmiany bodźca do jego aktualnej wielkości musi przekraczać pewną określoną wielkość charakterystyczną dla danego typu receptora.

A oto bohaterowie omawianego prawa:



Ernst Weber(1875-1925) – niemiecki i fizjolog



Gustav Fechner (1801-1887) – niemiecki fizyk i filozof



# Zmysł słuchu

Co by było gdybyśmy nic nie słyszeli? W pewnych sytuacjach brak zdolności wyłapywania dźwięków może być dla nas istnym błogosławieństwem, ale z czasem potrzeba słuchania rośnie, aż w końcu staje się niezbędną do prawidłowego funkcjonowania. Jak wyglądałaby lekcja matematyki bez głosu nauczyciela? Zauważmy z łatwością, że cyfry na tablicy byłyby tylko pustą treścią, a 45 minut czasu spędzonego w ławce nie przyniosłoby wymiernego efektu. A co jeśli nie dochodziłyby do nas głosy nocnej imprezy sąsiada? 2 godziny snu wydłużyłyby się trzykrotnie, a nasz mózg nie musiałby uczestniczyć w koncercie zespołu, którego nienawidzi. Co z tego, jeśli nigdy nie zrozumielibyśmy fenomenu Michaela Jacksona czy Beatlesów. Z drugiej strony są takie słowa, których wolelibyśmy nie słyszeć. Na przykład, gdy ukochana dziewczyna mówi, że nie może się z Tobą spotkać, bo musi uczyć się na sprawdzian z matematyki.

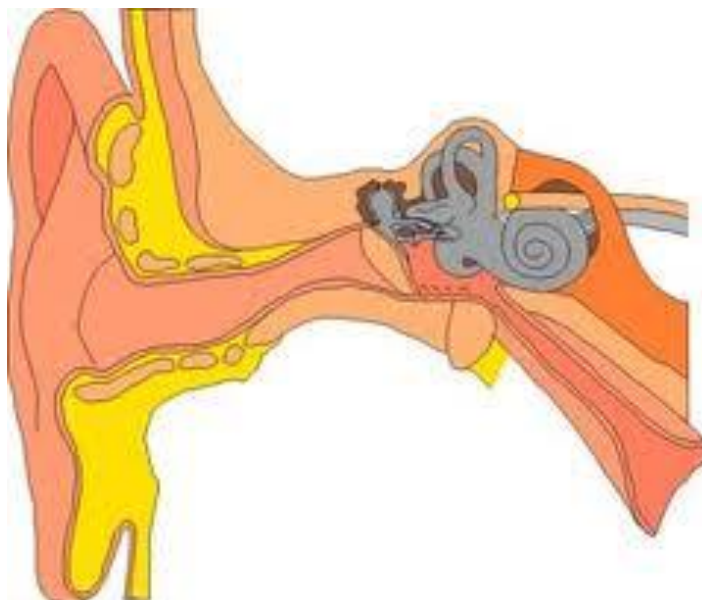
Wszystko to uzależnione jest od jednego z ludzkich zmysłów – słuchu, którego funkcjonowanie ma wiele wspólnego z logarytmami. Narządem słuchu jest ucho, które warunkuje zdolność człowieka do odbierania fal akustycznych docierających do naszego mózgu jako dźwięk.



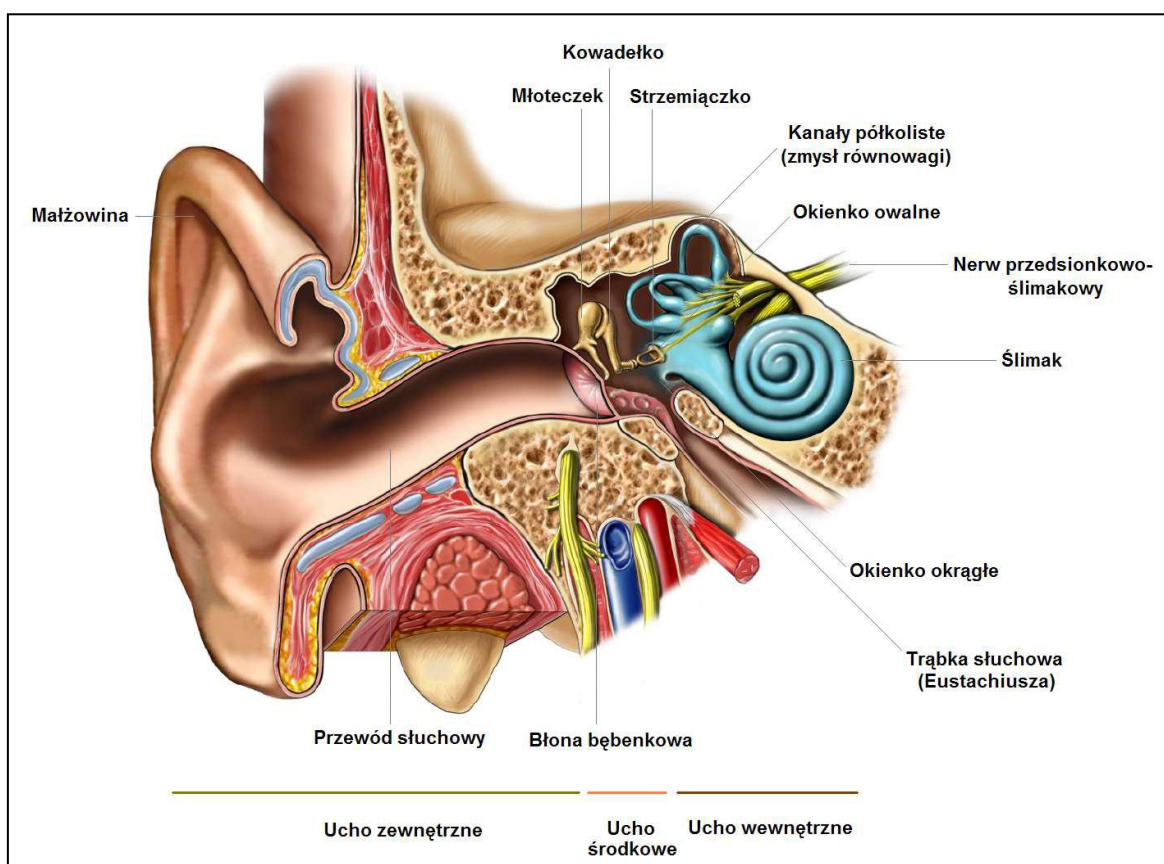
# Budowa

Ucho możemy podzielić na:

- Zewnętrzne
  - Małżowina uszna
  - Przewód słuchowy zewnętrzny
  - Zewnętrzna część błony bębenkowej
- Środkowe
  - Błona bębenkowa
  - Trąbka Eustachiusza
  - Zewnętrzna część okienka owalnego
  - Trzy kosteczki słuchowe (młoteczek, kowadelko, strzemiączko)
- Wewnętrzne
  - Ślimak
  - Trzy kanały półkoliste
  - Nerw słuchowy



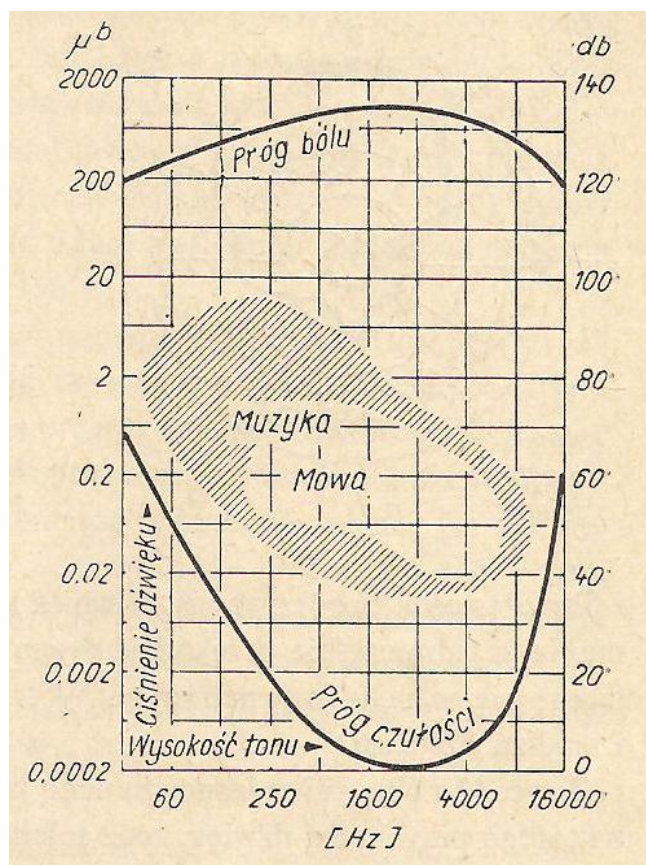
Budowa uszu jest bardzo skomplikowana. Do dziś medycyna nie potrafi wyjaśnić niektórych procesów tam zachodzących. Podany poniżej schemat budowy ucha jest jego podziałem anatomicznym ze względu na działanie. Ucho zewnętrzne pełni rolę wzmacniacza i filtru częstotliwości, ma również zdolność do określania kierunku pochodzenia dźwięku. Wszystkie te własności mają ogromne znaczenie ekologiczne. Ucho środkowe jest również wzmacniaczem o zmiennym stopniu wzmacniania, a także jednocześnie przekazuje drgania powietrza do ośrodka ciekłego znajdującego się w uchu wewnętrznym. W ostatniej wewnętrznej części następuje odbiór oraz analiza dźwięku. Ucho wewnętrzne jest kanałem w kształcie ślimaka wypełnionym chłonką (limfą) i podzielonym błoną podstawową biegnącą wzdłuż kanału. Na tej błonie wzdłuż całej długości znajdują się właściwe komórki narządu słuchu. Helmholtz przyjął, że każde miejsce na błonie podstawowej jest wrażliwe na ton o właściwej częstotliwości.



## Biofizyka słuchu

Celem biofizycznej analizy słuchu jest poznanie widma odbieranego dźwięku oraz określenie kierunku, z którego pochodzi dany dźwięk. Na rysunku poniżej przedstawiony jest obszar dźwięków słyszalnych przez ludzi z zaznaczeniem obszaru słuchanej muzyki czy rozmowy. Na lewej, pionowej osi współrzędnych, pokazane jest ciśnienie dźwięku w skali logarymicznej ( $1\mu\text{bar} = 0,1 \text{ N/m}^2$ ). Prawa oś przedstawia poziom natężenia dźwięku w jednostkach bezwymiarowych, powszechnie znanych jako decybele(dB). Przy określaniu tej jednostki uwzględniono fakt, że subiektywny poziom natężenia, czyli głośność wzrasta wraz z logarytmem ciśnienia dźwięku. Zasada ta jest znana również dla innych zmysłów i nazywana jest prawem Webera-Fechnera. Związek pomiędzy poziomem natężenia dźwięku (L) wyrażonego w decybelach i ciśnieniem dźwięku (p) dla standardowej częstotliwości 1000 Hz, gdzie  $p_0$  jest ciśnieniem dźwięku leżącym na progu czułości dla tonu 1000 Hz, ma postać:

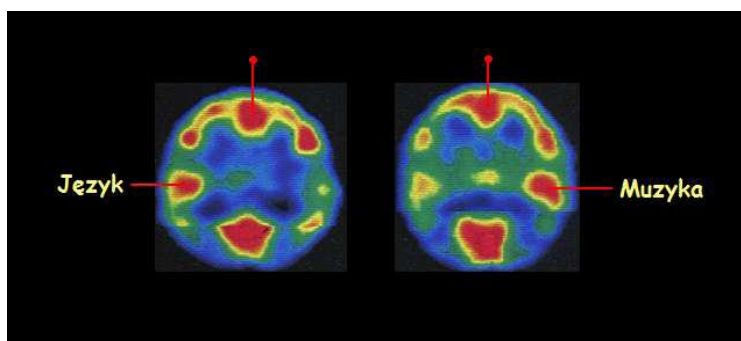
$$L=20\log\frac{p}{p_0}$$



## Odbieranie bodźców słuchowych

Jak mózg odbiera dźwięki?

Kiedy słuchamy języka mówionego, najbardziej aktywna jest lewa część kory mózgowej, a kiedy muzyki, uaktywnia się prawa strona. Aktywność w przedniej części oznacza, że trwa przetwarzanie bodźców słuchowych.



(Odbieranie dźwięków przez mózg zobrazowano metodą PET. Obszar największej aktywności zaznaczono kolorem czerwonym)

Fala dźwiękowa to zaburzenie rozchodzące się we wszystkich kierunkach, zdolne do wywołania wrażenia słuchowego. Źródłem fal są mechaniczne układy drgające. Człowiek jest odbiorcą dźwięków powstających głównie w powietrzu. Fizyczna strona zjawiska polega na powstawaniu zagęszczeń i rozrzedzeń powietrza, które ulegają zanikowi. Liczbę tych zagęszczeń i rozrzedzeń określa częstotliwość drgań ośrodka.

Drgania powietrza, które w działaniu na ucho ludzkie wywołują wrażenia słuchowe mają zakres częstotliwości od ok. 16 Hz do ok. 20 000 Hz.

<i>Dźwięk</i>	<i>Częstotliwość [Hz]</i>
<i>Dolna granica słyszalności</i>	<i>20</i>
<i>Najniższa nuta na fortepianie</i>	<i>27,5</i>
<i>Najniższa nuta śpiewaka (bas)</i>	<i>100</i>
<i>Środkowe C na fortepianie</i>	<i>261,6</i>
<i>Najwyższa nuta na fortepianie</i>	<i>4180</i>
<i>Górna granica słyszalności ludzi starszych</i>	<i>12000</i>
<i>Górna granica słyszalności</i>	<i>20000</i>

Za odbieranie bodźców odpowiedzialne są receptory w zmyśle słuchu są to konkretnie eksteroreceptory. Narząd słuchu pełni specyficzną rolę ponieważ pełni funkcje we wspomnianym zmyśle słuchu(eksteroreceptory), jak i w zmyśle równowagi(interoreceptory).

## Natężenie dźwięku

Dźwięki dzieli się na: dźwięki proste - tony i odpowiadające im drgania harmoniczne proste, dźwięki złożone o drganiach złożonych oraz szumy o widmie ciągłym - białe albo ciągłym w pewnych pasach częstotliwości-szum barwny.

Wysokość dźwięku związana jest z wielkością częstotliwości. Im większa częstotliwość, tym wyższy dźwięk i na odwrót.

Natężenie dźwięku jest to miarą energii fali akustycznej mierzonej w  $W/m^2$ . Jest ona równa średniej długości strumienia energii akustycznej przepływającej w czasie 1s przez jednostkowe pole powierzchni ( $1m^2$ )

$$I(r) = \frac{P}{A}$$

gdzie: I-natężenie dźwięku, P - moc akustyczna źródła [W], A-powierzchnia

Wrażenie głośności odczuwane przez odbiorcę jest zależne od natężenia dźwięku i czułości ucha. Ilościowe określenie tej zależności jest niezwykle trudne ze względu na subiektywny charakter odczucia głośności. Natężenie dźwięku można zmierzyć, a głośność co najwyżej ocenić jako różną w porównaniu z innym dźwiękiem.

To co można obiektywnie zmierzyć to próg słyszalności, czyli najmniejsze natężenie  $I_0$  dźwięku jeszcze słyszalnego. Próg ten zależy od częstotliwości, dla częstotliwości 1000 Hz przyjętej za wzorcową wynosi  $I_0=10^{-10} W/m^2$ . Druga wielkość dająca się zmierzyć to próg bólu, natężenie dźwięku odczuwalne nie tylko jako dźwięk ale także jako ból. Dla 1000 Hz próg bólu wynosi  $I_b=1 W/m^2$ .

Uderzająca jest ogromna rozpiętość natężeń od progu słyszalności do progu bólu. Dla 1000 Hz wynosi bowiem:

$$\frac{I_b}{I_0} = 10^{12}$$

Trudno wyobrazić sobie skalę 1 000 000 000 000-stopniową dla wyrażania stosunków natężeń dźwięków o różnych głośnościach. Sprawa się uprości przez logarytmowanie wyrażenia, mianowicie:

$$\log \frac{I_b}{I_0} = 12$$

Logarytm stosunku natężeń można objąć skalą dwustopniową.

$$L = \log \frac{I}{I_0} \quad (\text{w belach})$$

To wyrażenie nosi nazwę *poziomu natężenia dźwięku*. Rozpiętość poziomów natężeń od progu słyszalności do progu bólu dla częstotliwości 1000 Hz dzieli się na 12 części i otrzymuje się skalę dwunastostopniową. Każdy stopień w tej skali nazywa się bel, skrótowo B (od nazwiska A. G. Bella, wynalazcy telefonu). W praktyce stosuje się jednak jednostkę decybeli 1 dB=0,1 B. Wtedy:

$$L = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (\text{w decybelach})$$

Skala logarytmiczna stosowana w ocenie głośności lepiej też pasuje do sposobu w jakim ucho odpowiada na bodźce akustyczne o różnym natężeniu, spełnia bowiem tzw. prawo Webera-Fechnera.

Według Webera próg różnicy  $\Delta I$  - najmniejsza różnica natężeń dwóch bodźców powodująca zauważalną zmianę odczucia - jest proporcjonalna do natężenia aktualnie działającego bodźca, czyli:

$$\frac{\Delta I}{I} = \text{const}$$

## Zastosowanie w medycynie

W medycynie logarytmy znajdują zastosowanie w audiometrii. Jest to pomiar ubytku słuchu. Umożliwia on ustalenie progów słyszalności oraz ubytku słuchu dla poszczególnych częstotliwości. Z porównania wyników przewodzenia dźwięku kostnego i powietrznego można wstępnie zlokalizować uszkodzenie narządu słuchu. Osłabienie słuchu najczęściej jest różne dla różnych częstotliwości i zależy od rodzaju uszkodzenia.

Audiometria jest podstawową metodą badania słuchu osób narażonych na długotrwałe działanie hałasów (głównie przemysłowych) i stwarza możliwość wykrycia osób zagrożonych rozwojem uszkodzenia słuchu, aby można było objąć je działaniami profilaktycznymi. Wynikiem tego badania jest audiogram. Z przebiegu krzywych na jego zapisie wynika, że:

- poziom natężenia dźwięku potrzebny do otrzymania tonów o jednakowej głośności jest różny dla różnych częstotliwości,
- jednakowe zmiany natężenia dźwięku wywołują różne zmiany głośności dla różnych częstotliwości.

Z tego względu ważne było ustalenie związku między przyrostem natężenia dźwięku a przyrostem wrażenia głośności. Wrażenia słuchowe, podobnie jak inne wrażenia zmysłowe, podlegają w przybliżeniu prawu Webera-Fechnera, które mówi, że wrażenie jest proporcjonalne do logarytmu wielkości bodźca:

$$W=k \cdot \log B$$

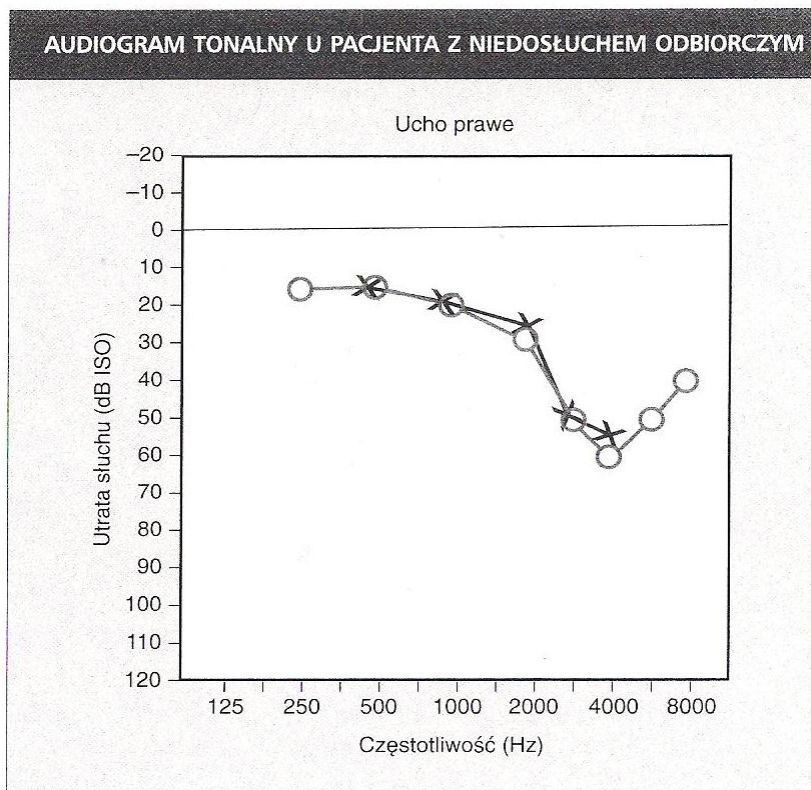
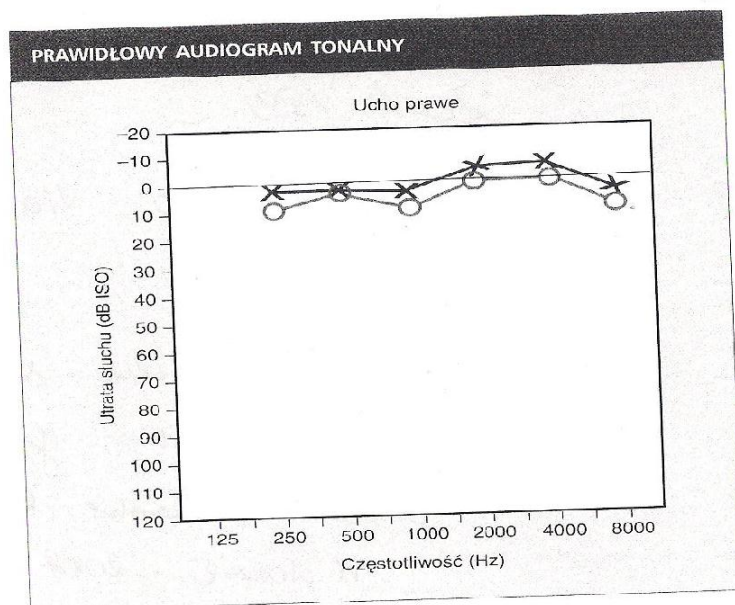
gdzie: W - wrażenie, B - bodziec, k - stała

Podstawę audiometrii stanowi określenie ubytku słuchu w stosunku do słuchu prawidłowego:

$$\text{ubytek słuchu} = 10 \log \frac{I}{I_0} [\text{dB}]$$

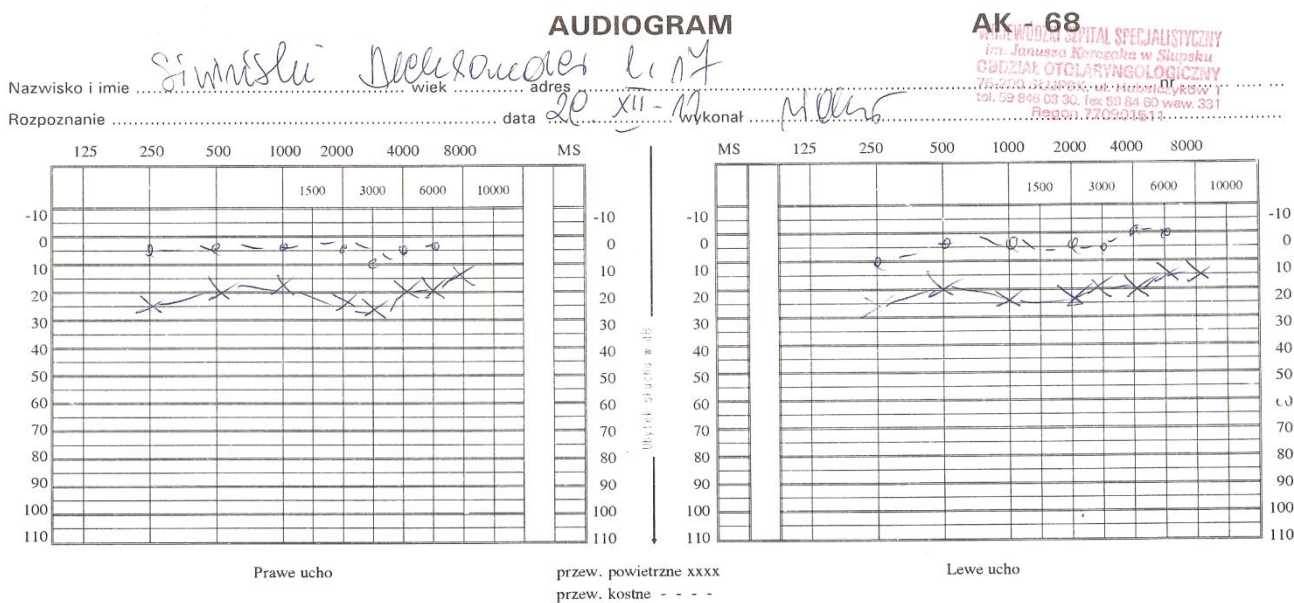


Tak wygląda audiogram u osoby zdrowej:



A tak u osoby z niedosłuchem odbiorczym:

A tak u ucznia I LO w Słupsku:



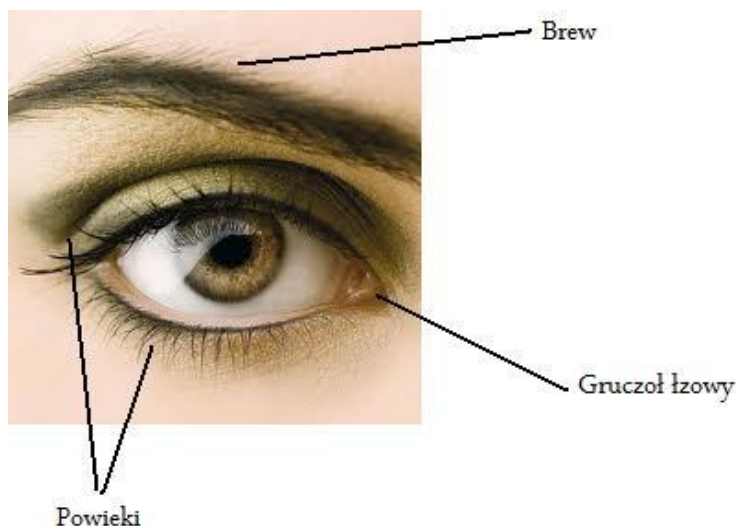
Diagnoza tego ostatniego wykazała, iż uczeń posiada słuch bardzo dobry, a co za tym idzie nie może używać argumentu, iż nie słyszał polecenia nauczyciela.

# Zmysł wzroku

Wzrok informuje nas o wyglądzie rozmaitych obiektów i ich położeniu. Umożliwia rozpoznawanie barw, natężenia światła oraz orientację w świecie. Narządem wzroku są gałki oczne oraz narządy dodatkowe oka: brwi, spojówki, powieki, narząd łzowy oraz aparat ruchowy oka. Oczy skupiają światło emitowane przez otaczające przedmioty i tworzą obrazy odczytywane w mózgu. Dostarczają ostrego, ruchomego, trójwymiarowego i wielobarwnego obrazu otaczającego nas świata. Umożliwiają rozpoznawanie przedmiotów na podstawie kolorów, kształtów i jasności.

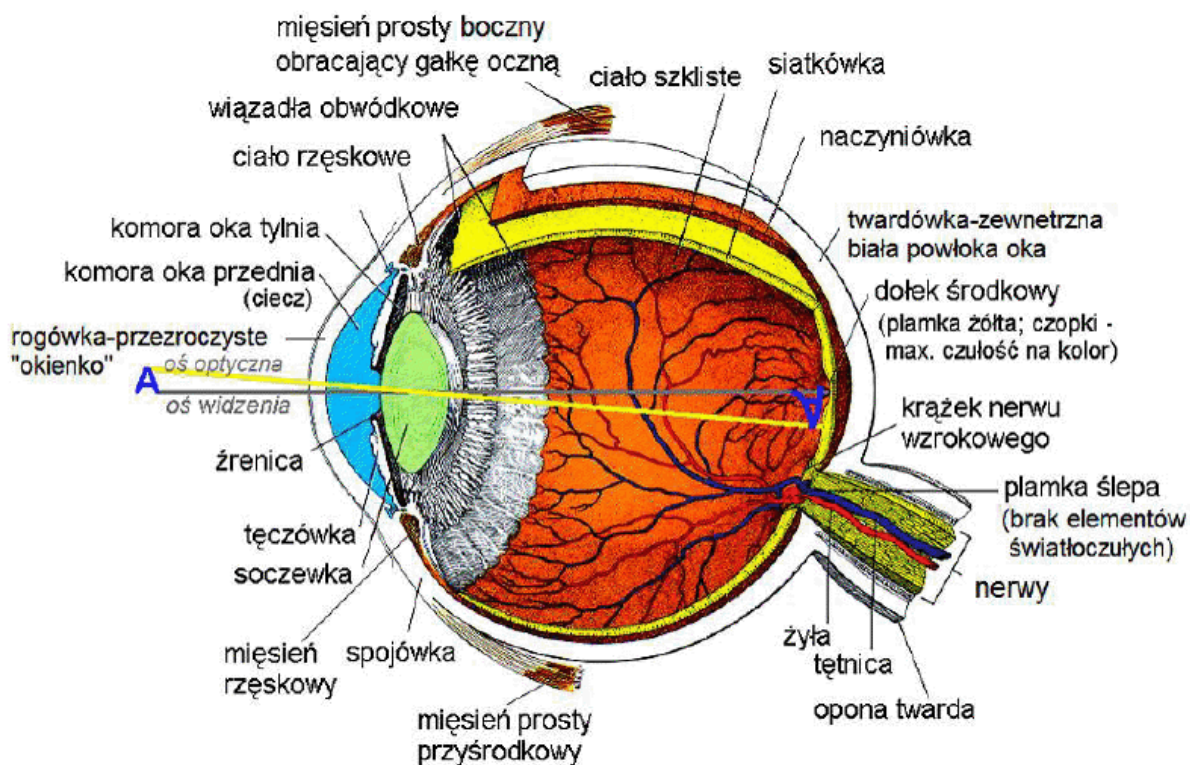
## Budowa

Oczy człowieka mają kształt kulisty, tkwią w zagłębieniach czaszki, czyli oczodołach. Oznacza to, że z wyjątkiem swojej przedniej części, są chronione przez kości. Od przodu są otoczone fałdami skórnymi tworzącymi powieki, zaopatrzonymi w rzęsy. Wewnętrzną powierzchnię powiek pokrywa delikatna, przezroczysta błona – spojówka. Jej powierzchnia zwilżana jest przez wydzielinę gruczołów łzowych. Ściana gałki ocznej jest trójwarstwowa. Zewnętrzną warstwę stanowi błona włóknista. W tylnej części oka jest to twardówka, a w przedniej rogówka. Warstwę środkową tworzy błona naczyniowa, na którą składają się: tęczówka, ciało rzęskowe oraz naczyniówka, a wewnętrzną siatkówka.



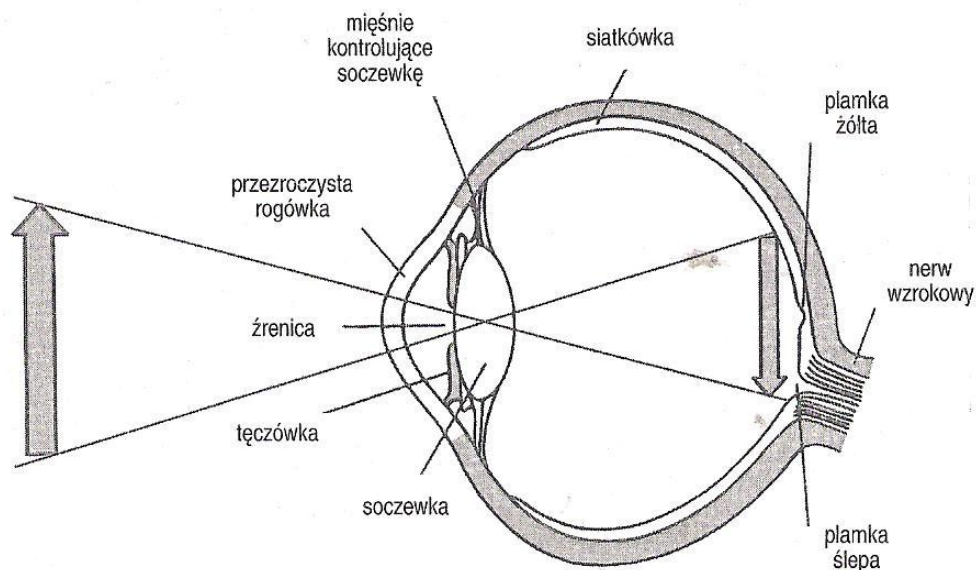
Elementy budowy oka:

- **Brwi** – chronią oczy przed zalewaniem przez pot.
- **Powieki** – chronią oczy przed kurzem i wysychaniem oraz nadmierną ilością światła.
- **Gruzoły łzowe** – umożliwiają nawilżenie gałki ocznej podczas mrugania.
- **Rzęsy** – chronią oczy przed zaproszeniem.
- **Źrenica** – umożliwia wniknięcie światła do wnętrza oka.
- **Tęczówka** – reguluje wielkość źrenicy i ilości światła dostającego się do wnętrza oka.
- **Rogówka** – to przezroczysta błona, która chroni przednią część gałki ocznej.
- **Ciało szkliste** – wypełnia gałkę oczną.
- **Plamka ślepa** – jest miejscem, w którym od siatkówki odchodzi nerw wzrokowy.
- **Nerw wzrokowy** – przekazuje impulsy nerwowe do ośrodka wzroku w mózgu.
- **Siatkówka** – jest miejscem powstawania obrazu.
- **Soczewka** – załamuje i skupia promienie światła wewnątrz oka.



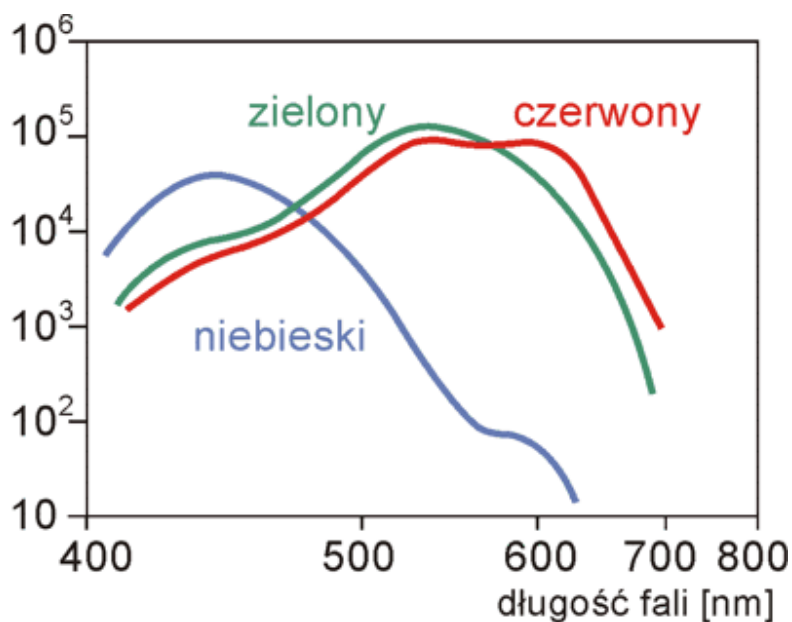
## Jak powstaje obraz?

Właściwe narządy zmysłów (receptory) znajdują się w siatkówce. Zanim jednak promienie świetlne dotrą do siatkówki, muszą przejść drogę przez aparat oka. Promień świetlny najpierw pada na przezroczystą rogówkę, gdzie zostaje załamany. Pod rogówką znajduje się tęczówka, która nadaje oczom barwę. Światło musi przejść przez znajdujący się w tęczówce otwór – źrenicę. Może ona przy pomocy mięśni zmniejszać się albo powiększać, regulując w ten sposób natężenie światła. Dalej fala świetlna przechodzi przez soczewkę i galaretowate ciało szkliste. Ostatecznie światło pada na siatkówkę i powstaje obraz rzeczywisty, pomniejszony i odwrócony. Tam też następuje pobudzenie komórek zmysłowych (światłoczułych) i powstaje impuls nerwowy. Impulsy biegnące z przyśrodkowej części siatkówki każdego oka przechodzą w skrzyżowaniu wzrokowym na drugą stronę. Docierają one do ośrodka wzrokowego płata potylicznego kresomózgowia, gdzie są analizowane i scalane. Powstający w mózgowiu obraz jest trójwymiarowy.



Rys. 3.5  
Ludzkie oko – przekrój.

W siatkówce rozmieszczone są dwa rodzaje właściwych fotoreceptorów: pręciki i czopki. **Pręciki** nie pozwalają na rozróżnianie kolorów i precyzyjne widzenie. Receptory te są jednak komórkami bardzo czułymi – pobudzają je już pojedyncze kwanty światła. Dzięki temu umożliwiają widzenie w każdym oświetleniu, nawet o zmierzchu. **Czopki** są znacznie mniej czułe i zawodzą w ograniczonym świetle. Jednak gdy jest jasno, czopki pozwalają na tworzenie obrazów ostrych i barwnych. Ostrości, ponieważ są głównie w **plamce żółtej**, gdzie znajduje się obszar najbardziej precyzyjnego widzenia. Barwnych, gdyż czopki różnią się od siebie wrażliwością na fale światła: niebieskiego, zielonego i czerwonego. Kombinacja pobudzeń różnych czopków daje pełne wrażenie odbioru barw, natomiast równomierne pobudzenie wszystkich – wrażenie bieli.



Zakres fal światła widzialnego dla człowieka mieści się w granicach około 400 – 700nm.

## Postrzeganie światła przez człowieka

Gustav Fechner w latach pięćdziesiątych XIX wieku przeprowadzał eksperyment, w którym badał reakcję ludzi na kontrast jasności. Każdy badany dostawał dwa lśniące dyski, w których można było regulować intensywność światła. Jasność jednego zwiększano do momentu, kiedy badany zauważał różnicę. W ten sposób ustalano zakres wrażenia jednostki na bodziec. Jasność bowiem zależy od natężenia światła, a wrażenie natężenia światła odbierane jest logarytmicznie, zgodnie z prawem Webera-Fechnera:

Dostrzegalny dla zmysłu wzroku przyrost natężenia promieniowania jest proporcjonalny do natężenia działającego promieniowania.

$$\Delta I = k \cdot \log(I/I_0)$$

Oko ludzkie działa jak system logarytmujący.

## Praktyczne wykorzystanie

W medycynie bada się reakcję organizmu na działanie bodźców, które odbieramy za pomocą zmysłów, poprzez **testy psychofizyczne**. Znajdują one zastosowanie w diagnostyce, ponieważ charakterystycznym objawem niektórych chorób jest zmniejszona wrażliwość na bodźce zmysłowe. Często wada jednego ze zmysłów powoduje wzrost czułości innego.

Wynikami badań psychofizycznych określa się możliwość wykonywania niektórych zawodów (kierowcy, policjanci). Osoba rozwiązująca takowy test może dostać za zadanie:

- określić, jaki najmniejszy bodziec wywołuje wrażenie (np. najmniejsze nasycenie barwy przedmiotu)
- uszeregować kilka ocenianych próbek według siły odbieranego wrażenia (np. od najciemniejszej do najjaśniejszej)
- porównać różne próbki i wskazać, która jest inna od pozostałych (np. ma trochę inny kolor)

# Zmysł powonienia

Kto z nas wyobraża sobie nie czuć zapachu przedświątecznych wypieków, skoszonej trawy czy kwiatów na łące? Bez węchu mielibyśmy ograniczoną możliwość poznawania świata, a nawet problemy z codziennym życiem. Dlatego natura obdarzyła nas zmysłem powonienia. Znajduje się on wewnątrz nosa i zależy od małej plamki receptorów węchowych, które reagują na obecność związków chemicznych w powietrzu. Wystarczy im zaledwie kilka cząsteczek jakiejś substancji, aby zidentyfikować zapach. Człowiek jest w stanie rozróżnić węchem od około 2000 do 4000 różnych zapachów. Mimo że każda substancja pachnie inaczej, możemy podzielić je na zapachy przyjemne i nieprzyjemne, słabe, ostre, słodkie itp.

## Funkcje zmysłu powonienia:

- podstawowe – wykrywanie zapachu, określanie natężenia substancji będącej źródłem zapachu
- wyższe – nauka rozróżniania, identyfikacji, zapamiętywania i integracji zapachów

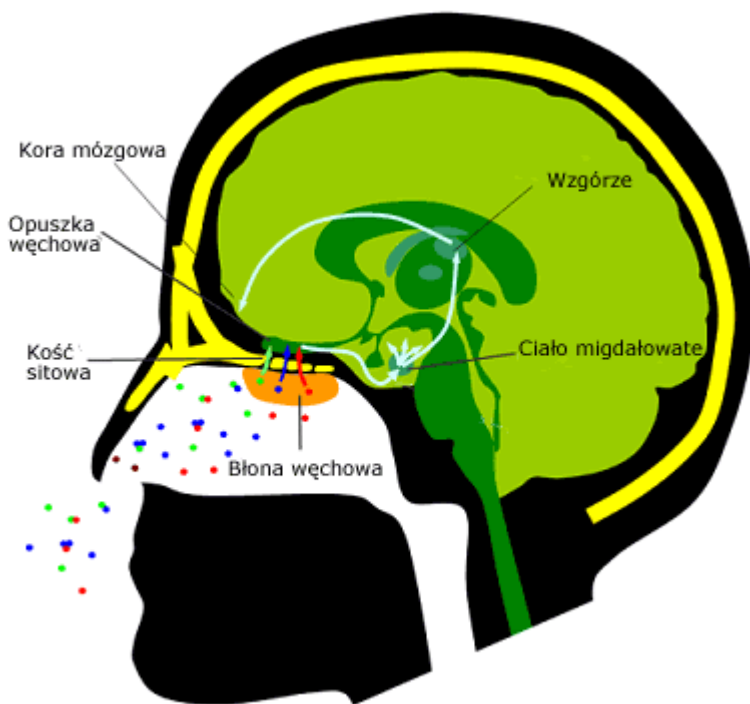
## Znaczenie narządu węchu u człowieka:

- ostrzeganie przed niebezpiecznymi substancjami (dym, gazy trujące) i ich lokalizacja,
- dobór właściwych pokarmów (jakość i świeżość),
- udział w procesie wydzielania śliny i soku żołądkowego pod wpływem przyjemnych zapachów żywności,
- udział w percepcji wrażeń smakowych,
- źródło przeżyć i odczuć estetycznych, zachowań emocjonalnych i seksualnych,
- samokontrola stanu higienicznego (zapach wydzielin, potu),
- droga docierania istotnych informacji społecznych (rozpoznanie matki, dziecka, odruch ssania),
- niezbędny w wykonywaniu niektórych zawodów (kucharz, farmaceuta, laborant, strażak).



## Budowa

Cząsteczki związków chemicznych wprowadzany do jamy nosowej wraz z powietrzem wdychanym rozpuszczają się w śluzie pokrywającym nabłonek błony śluzowej okolicy węchowej. Tą drogą działają na wypustki komórek nerwowo-zmysłowych węchowych w kształcie rzęsek. Komórka (I neuron czuciowy) ta jednocześnie odbiera bodźce i przewodzi impulsy nerwowe, ponieważ jest komórką nerwową.

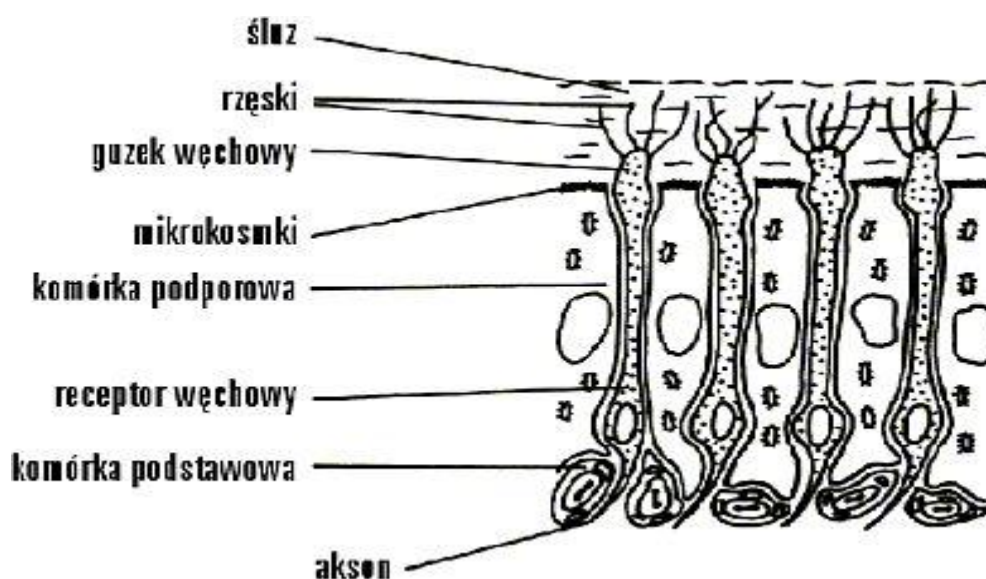


Wypustki około 20 komórek nerwowo-zmysłowych węchowych tworzą włókna nerwowe węchowe, które do dołu przedniego czaszki kończą się synapsami w opuszce węchowej na Komórkach nerwowych mitralnych (II neuron czuciowy). Z opuszki węchowej aksony idą w trzech kierunkach:

1. Przez prążek węchowy przyśrodkowy i spoidło przednie biegną do opuszki węchowej po stronie przeciwnej.
2. Przez prążek węchowy pośredni aksony neuronów opuszki osiągają istotę dziurkowaną przednią skąd biegną do podwzgórza i innych struktur układu rąbkowego.
3. Prążek węchowy boczny zawiera akson kierujący się do III neuronu czuciowego w części korowej i przyśrodkowej ciała migdałowego oraz do haka zakrętu hipokampa.

Adaptacja do działającego bodźca zależy od jego charakteru. Do pewnych zapachów człowiek adaptuje się szybko, przestając je odczuwać, do innych bardzo wolno. W razie działania dwóch różnych zapachów człowiek odbiera ten, który silniej działa lub, który wolniej się adaptuje. Człowiek może odróżnić od 2000 do 4000 różnych zapachów. Pomiedzy komórkami nerwowo-zmysłowymi węchowymi nabłonka węchowego znajduje się zakończenia włókien nerwowych należących do nerwu trójdzielnego. Podrażnienie wywołuje odruch kichania.

Zmysł powonienia u człowieka jest jednak stosunkowo słabiej rozwinięty niż u niektórych innych ssaków. Zwierzęciem, które obdarzone jest doskonałym węchem może być na przykład pies, który jak wiadomo potrafi tropić zwierzynę czy człowieka, kierując się jedynie węchem. Psy mają znacznie lepszy węch niż ludzie, ponieważ ich receptory węchowe w górnej części jamy nosowej są 100 razy dłuższe niż u człowieka. Dlatego psy są często wykorzystywane przez policję i służby celne między innymi do wykrywania narkotyków i materiałów wybuchowych.



### Budowa nosa psa

U psa powierzchnia wrażliwa na zapachy, nazywana błoną śluzową, znajduje się w szczeliny nosowej usytuowanej w górnej części nosa. Powierzchnia błony śluzowej u psa jest 11-12 razy większa niż u człowieka. Umieszczone są w niej zakończenia nerwów, czyli receptory, które jeśli działa odpowiednia na nie liczba cząsteczek zapachowych wywołują reakcje nerwową przekazywana do ośrodków mózgu. Psy odbierają różnice w intensywności zapachów tak jak człowiek, czyli logarytmicznie, jednak dzięki temu, że ich węch jest bardziej rozwinięty są wykorzystywane przez policję między innymi w tropieniu sprawcy czy szukaniu narkotyków.

## Olfaktometria

Olfaktometria jest metodą wykonywania pomiarów. Dokonuje pomiarów stężenia odorów. Zapachy występujące w otoczeniu człowieka znikają z różną szybkością w miarę rozcieńczania czystym powietrzem. Tę zależność opisuje logarytmicznie prawo Webera-Fechnera. Dzięki temu możemy określić intensywność zapachu, posób działania węchu oraz możemy wykorzystać badania związane z tym prawem do w życiu codziennym.

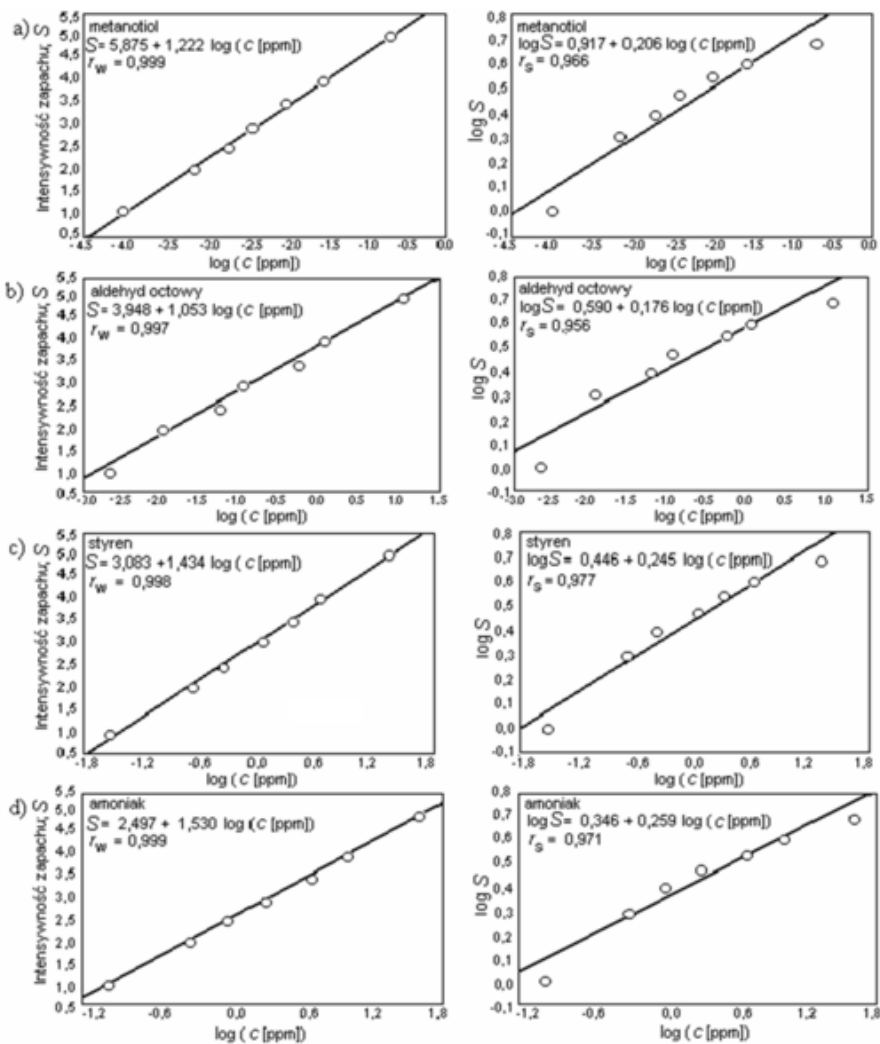
$$S = k_{WF} \log(c/c_{th})$$

$S$  - intensywność zapachu, określana różnymi metodami skalowania

$k_{WF}$  – stała (indywidualna cecha węchu człowieka, zależna od substancji zapachowych)

$c_{th}$  – próg wyczuwalności zapachu

Prosta prawa Webera-Fechnera ( $y = S$ ,  $x = \log Z$ ) wyznaczana jest z intensywności zapachu danej próbki( $S$ ) i stopniu rozcieńczenia jej w czystym powietrzu( $Z$ ).



Olfaktometria znajduje zastosowanie w medycynie - otolaryngologii, psychiatrii i neurologii. Jest pomocna w diagnostyce chorób związanych z zaburzeniami węchu (chorób narządu węchu i centralnego układu nerwowego). Wykonuje się też testy psychofizyczne (określenie progu różnicy dla narządu węchu) i badania elektorolfaktograficzne. Metodę tę wykorzystuje się również m.in. w ochronie środowiska do pomiaru wonnych zanieczyszczeń środowiska (odorantów).

## **Osmologia-dziedzina kryminalistyki**

### **Zapach człowieka**

Pomimo iż nie ma dowodów na istnienie niepowtarzalnego zapachu każdego człowieka to i tak badania osmologiczne wykorzystywane są w kryminalistyce. Według niektórych naukowców każdy człowiek posiada swój własny charakterystyczny zapach, powodowany przez wydzieliny skóry produkowane przez różne gruczoły, niezależny od czynników zewnętrznych. Dzięki niemu psy mogą rozróżniać poszczególne osoby oraz ich stany psychiczne. Ludzki pot, który składa się z wszelkiego rodzaju substancji chemicznych, tworzy owy niepowtarzalny dla jednostki zapach. W zależności od nastroju człowiek wydziela odmienną woń i natężenie wydzielania potu.

### **Kryminalistyka-Osmologia**

**Osmologia**- dział nauki zajmujący się badaniem właściwości i funkcjonowaniem zmysłu węchu oraz jego patologiami czy nieprawidłowym działaniem. W kryminalistyce - dział techniki kryminalistycznej zajmujący się zabezpieczaniem, przechowywaniem i badaniem śladów zapachowych ludzi z wykorzystaniem specjalnie wyszkolonych w tym zakresie psów, których zadaniem jest ustalenie zgodności zapachowej materiałem dowodowym (zabezpieczonym na miejscu zdarzenia), a materiałem porównawczym pobranym od osób. Badania śladów zapachowych ludzi zmierzające do ustalenia tożsamości osoby (sprawcy czynu przestępnego) są młodą dyscypliną w polskiej kryminalistyce.



Ślady zapachowe w kryminalistyce można podzielić na cztery typy:

- a) Ślady substancjalne(materialne) – do tego typu śladów zaliczamy woń pozostawioną na wszelkich przedmiotach materialnych, w tym ludzkich szczątkach, powstałe w wyniku jakiegoś oddziaływania oraz wszelkie zmiany które na tych przedmiotach powstały. Do tego typu śladów zaliczamy także charakterystyczne wrażenia węchowe dla danego przedmiotu oraz jego temperaturę, cechy fizyczne, chemiczne i biologiczne, itp.
- b) Mikroślady- małe ślady, często niedostrzegalne gołym okiem. Dzisiejsze urządzenia techniczne nie potrafią badać tego typów śladów, więc zaczęto wykorzystywać urządzenia o czułości porównywalnej do „psiego nosa ”, które niestety badają substancje o mniejszej złożoności takie jak narkotyki czy materiały wybuchowe.
- c) Ślady związane ze sprawcą – ślady te są nierozdzielnie związane z działalnością potencjalnego sprawcy przestępstw
- d) Ślady kontaktowe - biorąc pod uwagę konieczność kontaktu osoby z przedmiotem lub miejscem.

Badania osmologiczne oparte są na trzech etapach, które przeprowadzane są zgodnie z „Metodyką” opracowana przez Centralne Laboratorium Kryminalistyczne Komendy Głównej Policji:

- a) Zabezpieczenie śladów i pobranie próbek,
- b) Badanie osmologiczne,
- c) Ocena wartości dowodowej eksperymentu osmologicznego.

### **Zabezpieczanie śladów i pobieranie próbek**

Ślady zapachowe stosunkowo od niedawna można przechowywać przez dłuższy czas. Zabezpieczane ślady pozwalają na użycie wszelkich informacji w każdym etapie procesu karnego. Początkowo podczas zabezpieczania trzeba ustalić osoby, przedmioty lub miejsca bezpośredniego kontaktu z potencjalnym sprawcą. Wonie najlepiej zachowują się na tak zwanych śladach biologicznych, jak na przykład fragmentami tkanek, krwi i pocie. Mogą one utrzymywać się nawet kilka lat. Zaś przedmioty, z którymi miała kontakt dana osoba mogą zachowywać zapach od kilku godzin a nawet cały dzień. Ślady zabezpiecza się głównie na miejscu zbrodni. Pobieranie śladów polega na pokryciu go pochłaniaczem, a następnie folią aluminiową. Czas pobierania trwa minimalnie 30 minut. Następnie zdejmuje się folie a pochłaniacz zamyka się w sterylnym, bezwonnym szklanym pojemniku z metryczką. Owe ślady można także zabezpieczyć za pomocą pompy próżniowej.

## Badania Osmologiczne

Badanie to trzeba przeprowadzić najpóźniej w ciągu 24 godzin od czasu zabezpieczenia śladów. Identyfikacji dokonuje się przez danie psu do węszenia śladu dowodowego, a następnie polecenie mu wyszukania zapachu tożsamego w szeregu próbek, musi ich być minimalnie 5, który nazywa się szeregiem a tam gdzie występuje przynajmniej 10 próbek jest ok. okręgiem. W tym badaniu powinny być dwa psy a pomieszczenie powinno przypominać te, w którym psy były tresowane. Należy także usunąć wszelkie źródła zapachowe, dźwiękowe czy słuchowe, które mogą rozproszyć psa. Zaś przed badaniem należy przeprowadzić liczne testy, mające na celu sprawdzenie czy pies w danym dniu jest zdolny do pracy, również trzeba sprawdzić czy materiał dowodowy jak i porównawczy zostały dobrze zabezpieczone zgodnie z obowiązującymi procedurami.



### Wartość dowodowa badania osmologicznego

Ponieważ naukowo nie udowodniono zdolność rozpoznania człowieka przez psa badania osmologiczne są źródłem wielu sporów, jednak policja korzysta z nich już od dawna. Natomiast dla sądów jest to stosunkowo nowa metoda, ponieważ nie udowodniono stu procentowo, że metoda ta jest poprawna, więc takie badanie jest mało wiarygodne. Przyczyna tego jest także, iż psy nie zawsze potrafiły podczas testów wykrywać poprawne przedmioty czy ludzi, jak również miały problemy z identyfikacją konkretnych części ciała.

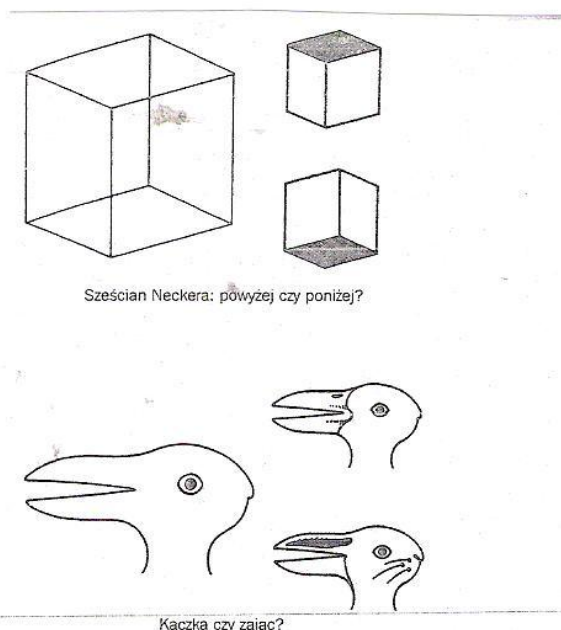
Według prawa Kodeksu Postępowania Administracyjnego ustawy z dnia 14 czerwca 1960 roku artykułu 75 *Definicja dowodu* i paragrafu 1: „Jako dowód należy dopuścić wszystko, co może przyczynić się do wyjaśnienia sprawy, a nie jest sprzeczne z prawem. W szczególności dowodem mogą być dokumenty, zeznania świadków, opinie biegłych oraz oględziny.” Ponieważ ślad zapachowy świadczy jedynie o kontakcie danej osoby z przedmiotem, ciałem lub miejscem, z którego pobrano próbki. Świadczy to o tym, że w każdym postępowaniu obiektywnie patrzy się na tego rodzaju materiał.

# Zmysły – czyli to, czego na pierwszy rzut oka nie widać

Na koniec chcielibyśmy przedstawić trochę ciekawostek związanych z percepcją. Może to być alternatywą dla tych, którzy nie darzą ogromną sympatią logarytmów i znudzeni lekturą naszej pracy, marzą o zmianie wątku. Przedstawione zagadnienia odbiegają od tematu i nie dotyczą bezpośrednio prawa Webera-Fechnera, ale podczas gromadzenia materiałów do projektu, natrafiiliśmy na wiele ciekawych informacji związanymi z postrzeganiem świata i pomyśleliśmy o zawarciu ich w naszej książce, aby i drogi Czytelnik sam mógł przekonać się, jak jest na co dzień oszukiwany przez własne zmysły.

## Dwuznaczność

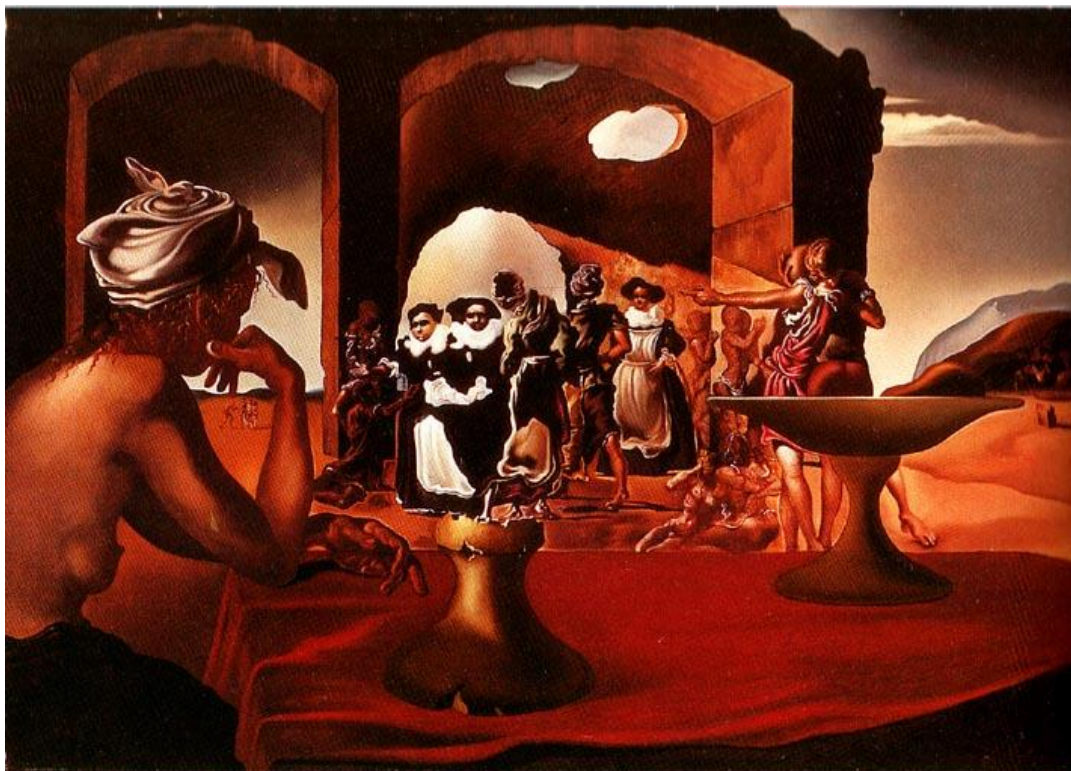
O dwuznaczności mówimy, gdy jeden obraz na poziomie zmysłowym prowadzi do licznych interpretacji na poziomach percepcji i identyfikacji. Poniższe przykłady pokazują dwuznaczną figurę, która pozwala na dwie różne interpretacje, np. rysunek kaczki/zajęca czy kwadratu Neckera.



**Rycina 4.3 Dwuznaczności percepcyjne**

*Każdy z przykładów dopuszcza dwie interpretacje, ale człowiek nie jest w stanie doświadczać obu równocześnie. Czy twoje postrzeganie przeskakuje z jednej możliwości na drugą?*

Dwuznaczność jest wykorzystywana też w sztuce, przykładem może być obraz „*Targ niewolników ze znikającym popiersiem Woltera*”, autorstwa Salvadora Dali.



Czy potrafisz znaleźć popiersie francuskiego pisarza i filozofa, Woltera? A może przyda Ci się pomoc? Białe niebo pod niższym łukiem to jego czoło i włosy, głowy dwóch panien to jego oczy, a białe fragmenty ich sukien to jego policzki, nos i broda. Czy już go widzisz? Teraz nie będziesz mógł już patrzeć na ten obraz, nie wiedząc, gdzie znajduje się Wolter.

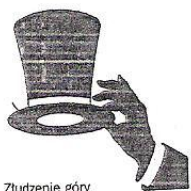


## Złudzenie

Ze złudzeniem mamy do czynienia, gdy nasza percepcja nas „oszukuje”, wywołując doświadczenie bodźca w sposób, który jest ewidentnie nieprawidłowy. Poniżej przedstawiamy kilka klasycznych przykładów złudzeń optycznych.

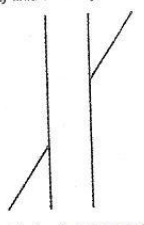
A. Użyj linijki, aby odpowiedzieć na każde pytanie.

Co jest szersze: rondo czy góra cylindra?



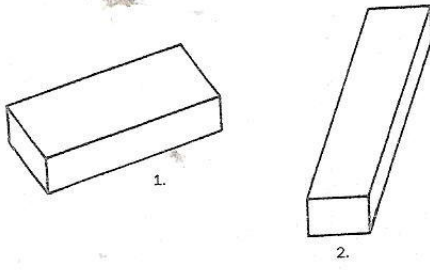
Złudzenie góry cylindra

Czy linia ukośna jest złamana?



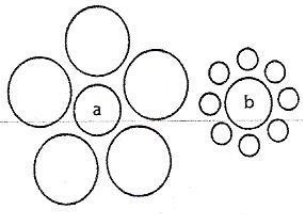
Złudzenie Pogendorfa

B. Które z pudełek jest tej samej wielkości co pudełko wzorcowe? Które jest na pewno mniejsze lub większe? Zmierz je, aby odkryć siłę tego złudzenia.



1. 2.


Które ze środkowych kółek jest większe?



a b

Złudzenie Ebbinghausa

Która z linii poziomych jest dłuższa?

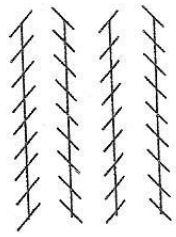


a b

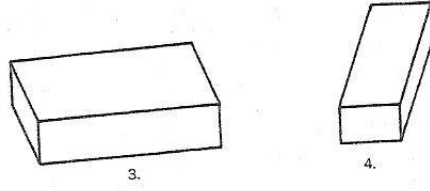
c d

Złudzenie Müllera-Lyera

Czy linie pionowe są równoległe?



Złudzenie Zöllnera



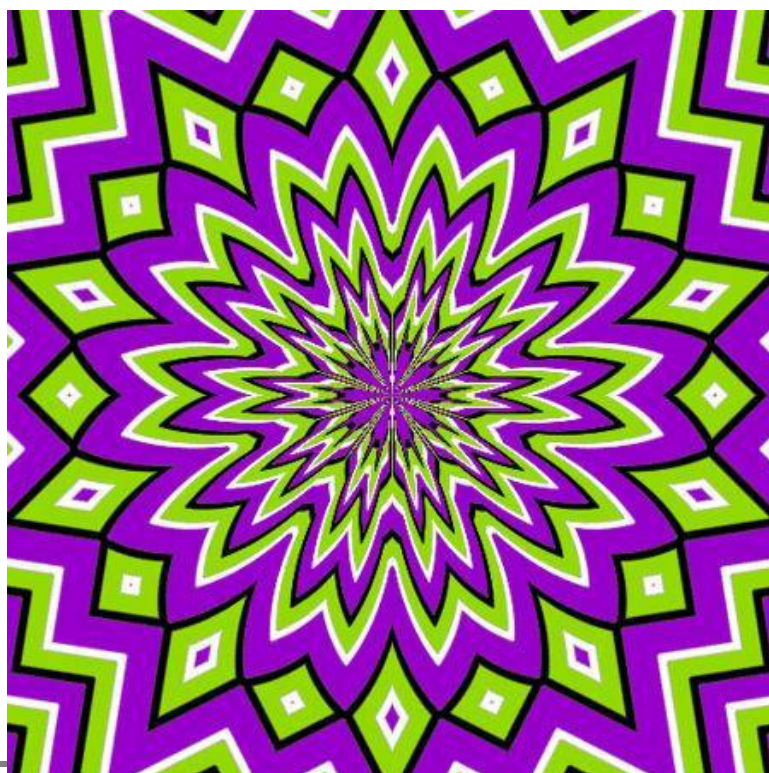
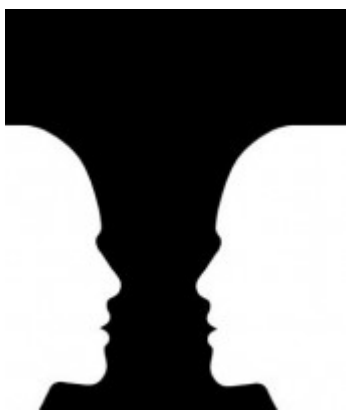
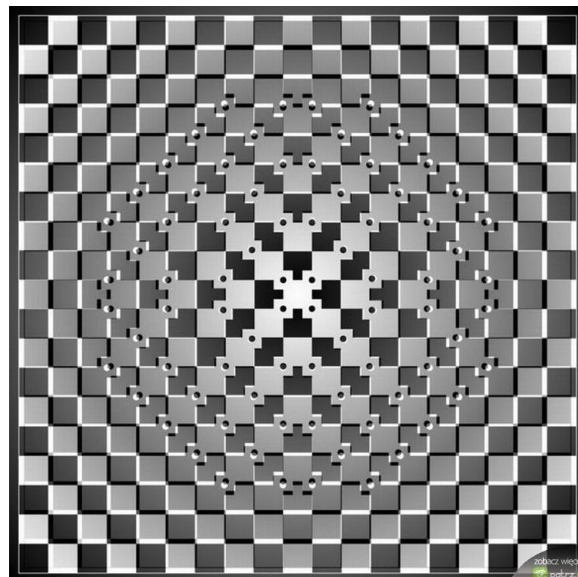
3. 4.

Pudełko wzorcowe

**Rycina 4.5 Pięć złudzeń, które kpią z twojego mózgu**

Każde z tych złudzeń reprezentuje okoliczności, w których percepcja jest nieprawidłowa. Naukowcy często wykorzystują złudzenia, aby weryfikować swoje założenia teoretyczne. Teorie te wyjaśniają, dlaczego układy percepcyjne, które przeważnie działają dokładnie, w niektórych okolicznościach wywołują złudzenia.

Inne przykłady dwuznaczności i iluzji:



## Bibliografia:

1. J. Wójcikiewicz, *Z zagadnień Nauk Sądowych*, XLI (2000) 96 – 101, „Identyfikacja człowieka przez psa na podstawie zapachu jako dowód naukowy”;
2. J. Wójcikiewicz, *Z zagadnień Nauk Sądowych*, XXXVII (1998) 158 – 164, „Metaekspertyza osmologiczna”.
3. W. Lewiński, J. Prokop, *Biologia I zakres podstawowy*, Wydawnictwo Operon
4. W. Z. Traczyk, *Fizjologia człowieka w zarysie*, Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich, Warszawa 1982
5. L. Dzwonkowski, A. Michailik, *Anatomia i fizjologia człowieka*, Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich, Warszawa 1961
6. J. Danowski, *Repetitorium dla kandydatów na Akademii Medycznej*, Oficyna Wydawnicza Medyk, Warszawa 2000
7. S. Konturek, *Fizjologia człowieka , tom IV, Neurofizjologia*, Wydawnictwo Uniwersytetu Jagiellońskiego, Kraków 1998
8. Z. Włodarski, A. Matczak, *Wprowadzenie do psychologii*, wydawnictwo WSiP, Warszawa 1996
9. R. J. Sternberg, *Wprowadzenie do psychologii*, wydawnictwo WSiP, Warszawa 1999
10. G. Mietzel, *Wprowadzenie do psychologii, podstawowe zagadnienia*, Gdańskie Wydawnictwo Psychologiczne, Gdańsk 2003
11. J. W. Kalat, *Biologiczne podstawy psychologii*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2006
12. P. G. Zimbardo, R. L. Johnson, V. McCann, *Psychologia, kluczowe koncepcje. Struktura i funkcjonowanie świadomości*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010
13. A. Furnham, *50 teorii psychologii\* które powinieneś znać*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010
14. R. J. Gerrig, P. G. Zimbardo, *Psychologia i życie*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2006
15. J. Bullock , *Fizjologia*, Wydawnictwo Medyczne Urban & Partner, Wrocław 2001
16. Feliks Jaroszyk, *Biofizyka. Podręcznik dla studentów*, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2007
17. P.D. Bull, *Wykłady z Otorynolaryngologii*, wydawnictwo Via Medica, Gdańsk 1999
18. J. Terlecki, *Ćwiczenia laboratoryjne z biofizyki i fizyki*, Podręcznik dla studentów, wyd. Państwowy Zakład Wydawnictw Lekarskich, Warszawa 1999
19. <http://www.mmlublin.pl/375929/2011/6/20/nabor-psow-do-sluzby-w-policji-juz-w-srode?category=news>
20. <http://www.ottoindustries.pl/olfaktometria>
21. [pl.wikipedia.org](http://pl.wikipedia.org)
22. [http://kryminalistyka.fr.pl/crime\\_mikroslady.php](http://kryminalistyka.fr.pl/crime_mikroslady.php)
23. <http://sjp.pwn.pl/haslo.php?id=2483394>

24. <http://www.chem.univ.gda.pl/kcha/pliki/Kryminalistyka%20podstawowe%20definicje.pdf>
25. <http://www.kryminalistyka.wortale.net/51-osmologia.html>
26. [http://www.ifj.edu.pl/publ/reports/rep\\_pop/2.pdf?lang=pl](http://www.ifj.edu.pl/publ/reports/rep_pop/2.pdf?lang=pl)
27. <http://www.kryminalistyka.wortale.net/51-osm>

Ilustracje do książki pochodzą ze stron internetowych i pozycji książkowych:

1. P.D. Bull, *Wykłady z Otorynolaryngologii*, wydawnictwo Via Medica, Gdańsk 1999
2. J. Bullock, *Fizjologia*, Wydawnictwo Medyczne Urban & Partner, Wrocław 2001
3. G. Mietzel, *Wprowadzenie do psychologii, podstawowe zagadnienia*, Gdańskie Wydawnictwo Psychologiczne, Gdańsk 2003
4. R.J. Sternberg, *Wprowadzenie do psychologii*, WSiP, Warszawa 1999
5. <http://www.is.umk.pl/~duch/Wyklady/Mozg/09-2-sluch.htm>
6. <http://blogs.technet.com/b/mkedziora/archive/2009/11/11/percepcja-firefox-i-bezpiecze-stwo.aspx>
7. <http://s182.photobucket.com/albums/x5/amyponder13/psychopics/?action=view&current=senses.jpg&newest=1>
8. <http://gentefoda.blogspot.com/2011/07/ernst-heinrich-weber.html>
9. <http://www.moonmentum.com/blog/tag/gustav-fechner/>
10. <http://www.sekretyzdrowia.eu/pozostale/narzad-zmyslu-sluchu/>
11. [http://www.czechowice-dziedzice.pl/www\\_2.0/index.php?option=com\\_content&task=view&id=123&Itemid=93](http://www.czechowice-dziedzice.pl/www_2.0/index.php?option=com_content&task=view&id=123&Itemid=93)
12. <http://www.students.pl/po-zajeciach/details/20339/Co-mowia-Twoje-oczy>
13. [kwp.lublin.pl](http://kwp.lublin.pl)
14. [http://kryminalistyka.fr.pl/crime\\_mikroslady.php](http://kryminalistyka.fr.pl/crime_mikroslady.php)
15. <http://www.chem.univ.gda.pl/kcha/pliki/Kryminalistyka%20podstawowe%20definicje.pdf>
16. <http://www.kryminalistyka.wortale.net/51-osmologia.html>
17. <http://www.mmlublin.pl/375929/2011/6/20/nabor-psow-do-sluzby-w-policji-juz-w-srode?category=news>
18. <http://www.tomalom.republika.pl/Dali.htm>
19. <http://magdaikarolina.blog.pl/foto,12483883,gal,762053,index.html>
20. <http://www.neurotyk.net/2010/01/iluzje-optyczne-zbiorowo/>
21. <http://forum.imperiumstylu.pl/viewtopic.php?f=35&t=2877&start=15>
22. <http://kulturaenter.pl/autor/marcin-skrzypek/>
23. <http://patrz.pl/zdjecia/fajna-iluzja-optyczna>
24. <http://sciaga.onet.pl/12581,57,150,84,1,20063,sciaga.html>
25. [http://www.wsipnet.pl/kluby/biologia\\_ekstra.php?k=1125&id=5433](http://www.wsipnet.pl/kluby/biologia_ekstra.php?k=1125&id=5433)