

Wstęp do teorii sztucznej inteligencji

Wykład VI

Dynamika Sieci Neuronowych

Model Hodgkin-Huxley'a propagacji sygnału w neuronach.

Rosenblatt – teoria dynamiki systemów neuronowych

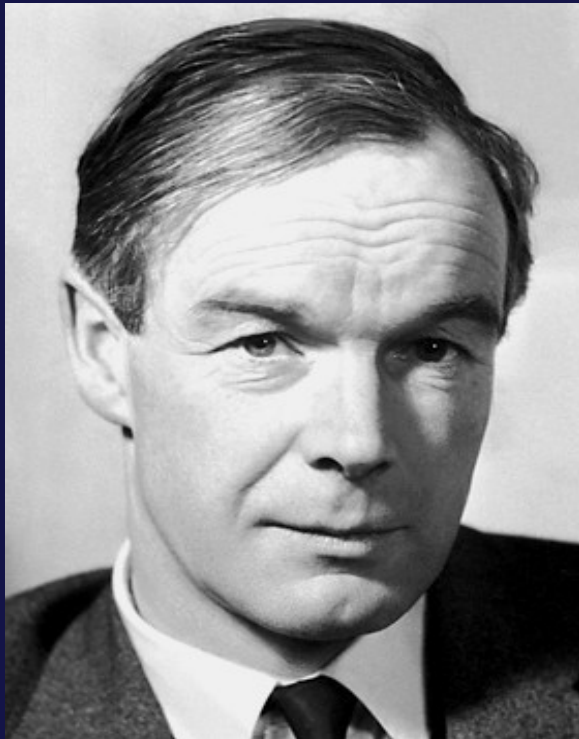
Sukces poprzez prostotę. Oni wprowadzili do nowych badań zasadę znaną wcześniej w fizyce, a która opiera się na krokach:

1. Dokonać obserwacji zjawiska.
2. Stworzyć jego **prosty** model mat-fiz.
3. Sprawdzić, czy model przewiduje coś, czego jeszcze nie wiemy.

Metoda ta stała się podstawą współczesnych nauk empirycznych.

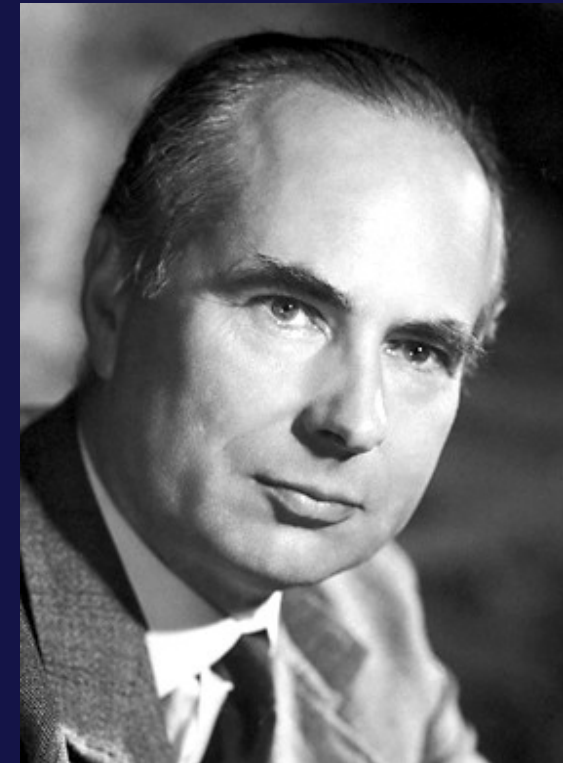
Sir Alan Lloyd Hodgkin, Anglia

(5 II 1914 – 20 XII 1998)



Sir Andrew Fielding Huxley, Anglia

(22 XI 1917 – 30 V 2012)



Nagroda Nobla

z fizjologii, 1963

Hodgkin, A. L.; Huxley, A. F. (1939). "Action Potentials Recorded from Inside a Nerve Fibre". *Nature* 144 (3651): 710;

Hodgkin, A. L.; Huxley, A. F. (1952). "A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve". *The Journal of physiology* 117 (4): 500–544.

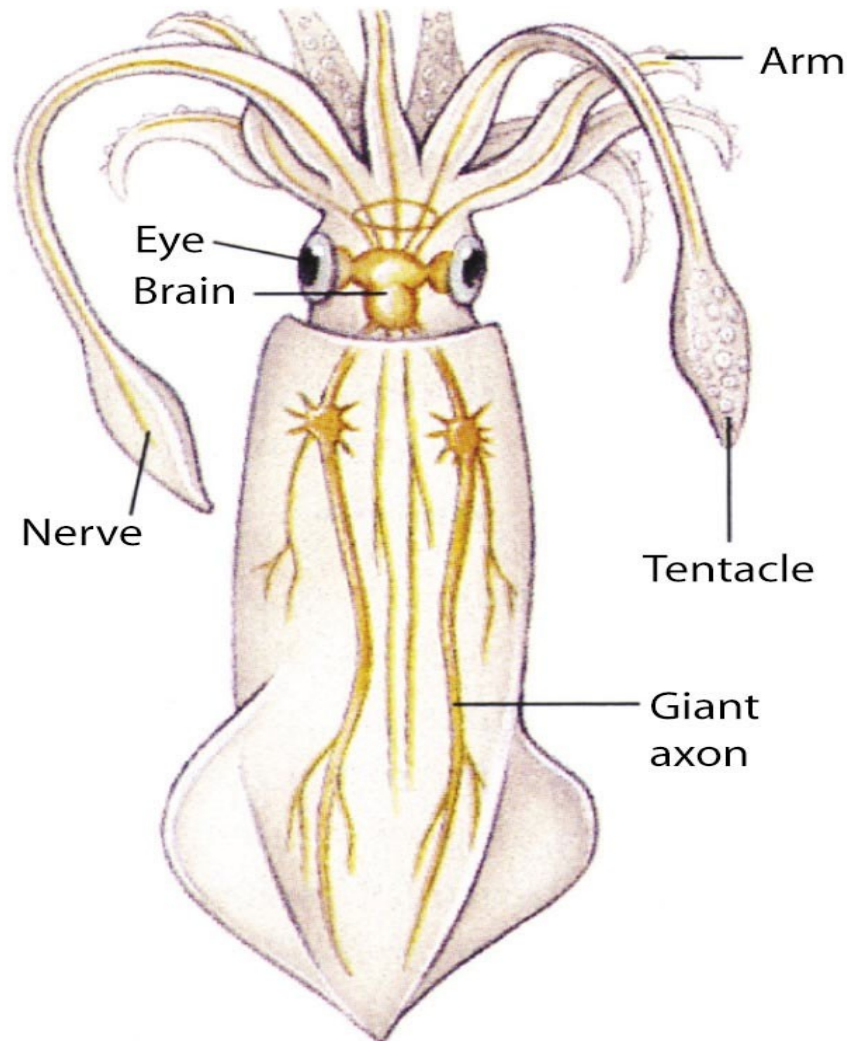
In 1939, Hodgkin returned from the USA to take up a fellowship at Trinity College, and Huxley became one of his postgraduates students. Hodgkin was interested in the transmission of electrical signals along nerve fibers. Beginning in 1935 in Cambridge, he had made preliminary measurements on frog sciatic nerves suggesting that the accepted view of the nerve as a simple, elongated battery was flawed. Hodgkin invited Huxley to join him researching the problem. The work was experimentally challenging. One major problem was that the small size of most neurons made it extremely difficult to study them using the techniques of the time. They overcame this by working at the Marine Biological Association laboratory in Plymouth using the giant axon of the Atlantic squid (*Loligo pealei*) which have the largest neurons known. The experiments were still extremely challenging as the nerve impulses only last a fraction of a millisecond, during which time they needed to measure the changing electrical potential at different points along the nerve. Using equipment largely of their own construction and design, including one of the earliest applications of a technique of electrophysiology known as the voltage clamp, they were able to record ionic currents. In 1939, they jointly published a short paper in *Nature* reporting on the work done in Plymouth and announcing their achievement of recording action potentials from inside a nerve fibre.[7]

Then World War II broke out, and their research was abandoned. Huxley was recruited by the British Anti-Aircraft Command where he worked on radar control of anti-aircraft guns. Later he was transferred to the Admiralty to do work on naval gunnery and worked in a team lead by Patrick Blackett. Hodgkin, meanwhile, was working on the development of radar at the Air Ministry. When he had a problem concerning a new type of gun sight, he contacted Huxley for advice. Huxley did a few sketches, borrowed a lathe and produced the necessary parts.

Huxley was elected to a research fellowship at Trinity College, Cambridge, in 1941. In 1946, with the war ended, he was able to take this up and to resume his collaboration with Hodgkin on understanding how nerves transmit signals. Continuing their work in Plymouth they were, within six years, able to solve the problem using equipment they built themselves. The solution was that nerve impulses, or action potentials, don't travel down the core of the fiber, but rather along the outer membrane of the fiber as cascading waves of sodium ions diffusing inward on a rising pulse and potassium ions diffusing out on a falling edge of a pulse. In 1952 they published their theory of how action potentials are transmitted in a joint paper, in which they also describe one of the earliest computational models[8] in biochemistry. This model forms the basis of most of the models used in Neurobiology during the following four decades.

Loligo vulgaris (European squid; kałamarnica europejska) z belgijskiego szelfu kontynentalnego. Długość do ok. 40 cm. Średnica aksonu do 1 mm.

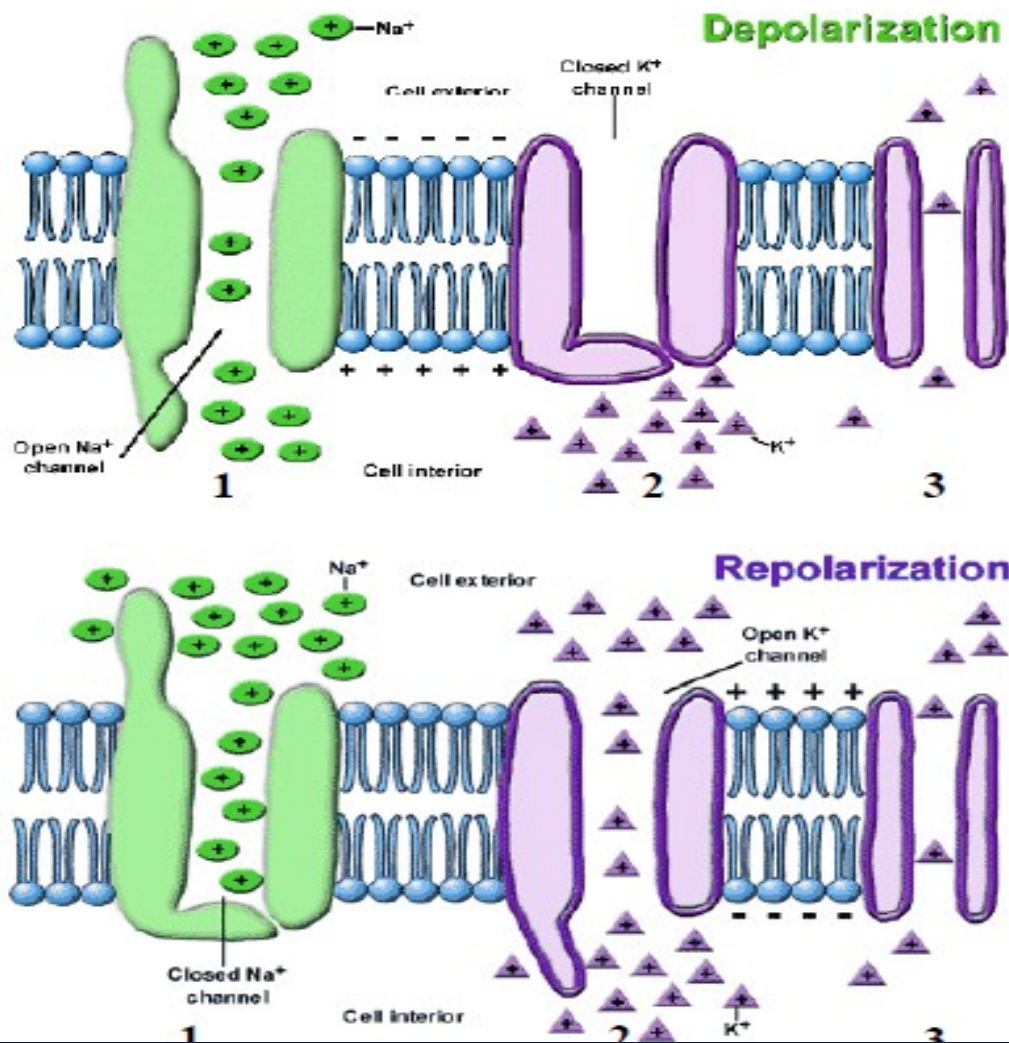




Copyright © 2009 Pearson Education, Inc.

Olbrzymi akson kałamarnicy – szczególny typ aksonu występujący u większości kałamarnic. Wysyłający go neuron przekazuje bodziec nerwowy do lejka i zawiaduje jego skurczem, wyrzucającym wodę z jamy płaszczowej głowonoga. Taka budowa zwiększa szybkość przewodzenia potencjału czynnościowego wzdłuż aksonu i jest ewolucyjnym przystosowaniem kałamarnic, pozwalającym im na szybsze zainicjowanie reakcji ucieczki

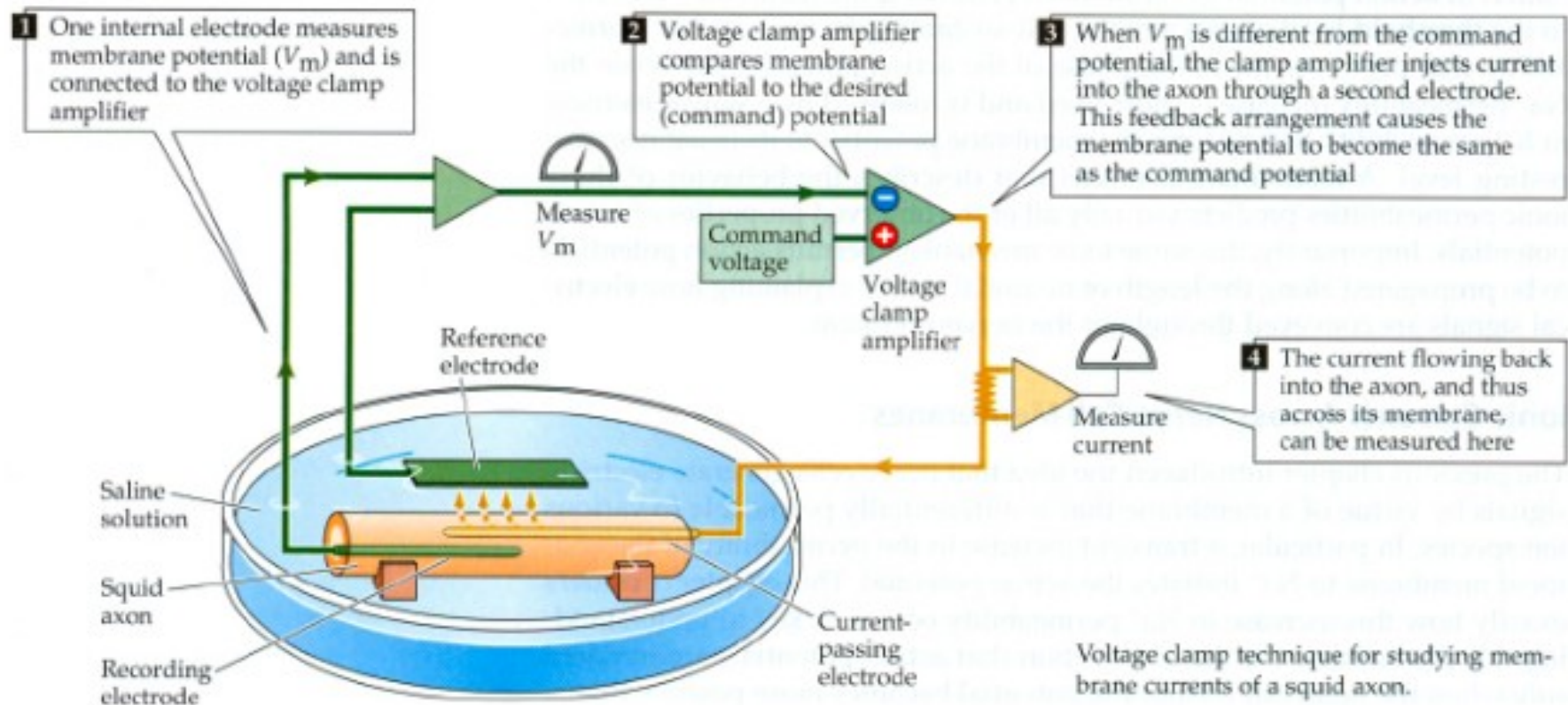
Pompa sodowo-potasowa (z prezentacji Izabeli Rozborskiej)

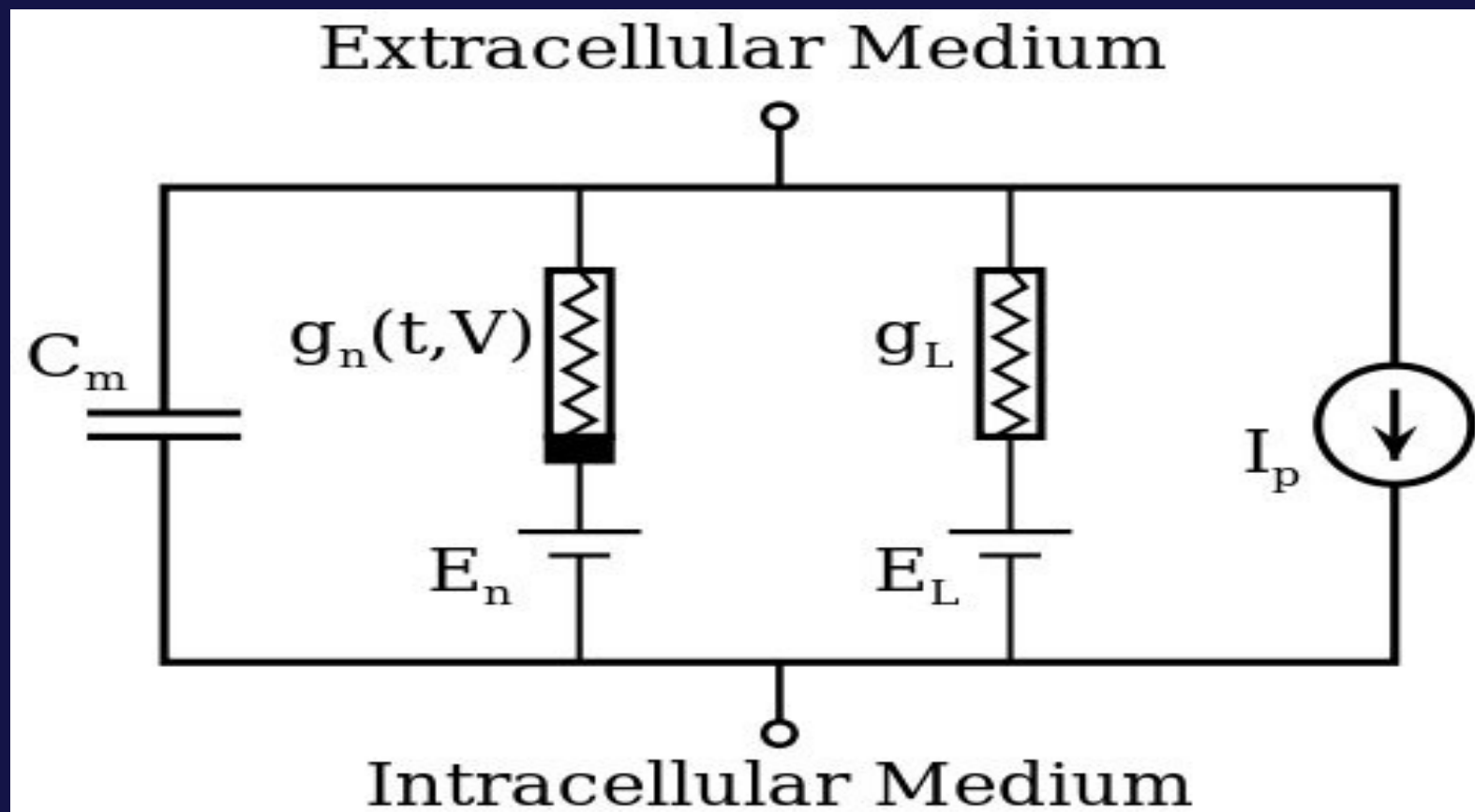


Powstanie
potencjału
czynnościowego

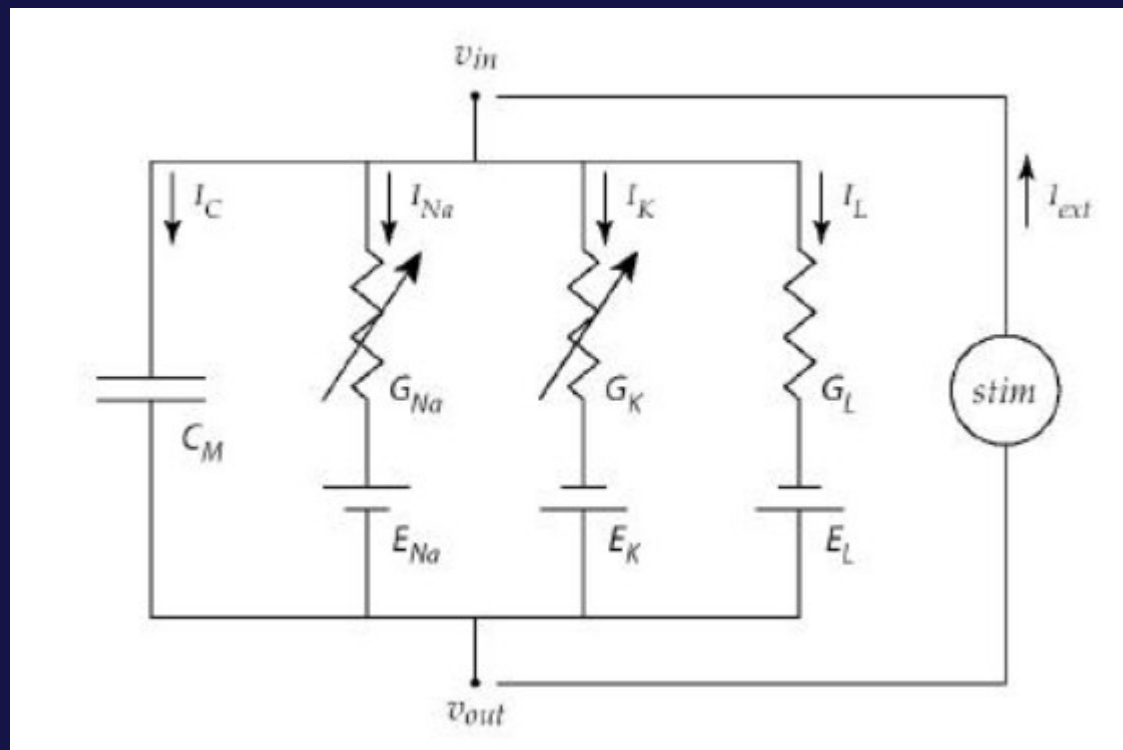
Methods: Voltage clamp

Currents are voltage-gated, so must control voltage





Podstawowe elementy modelu Hodgkina-Huxleya. Modele typu Hodgkin-Huxley przedstawiają charakterystykę biofizycznych błon komórkowych. Lipidowa dwuwarstwa jest reprezentowana jako pojemność (C_m). Charakterystyki napięciowe kanałów jonowego przewodnictwa reprezentowane przez nieliniowe (g_n) i liniowe (g_L) przewodności. Bariery elektrochemiczne przepływ jonów są reprezentowane przez baterie (E_n i E_L), zaś upływ prądu przez I_p .



Wolę jednak ten schematyczny rysunek, z oryginalnej pracy HH z 1952.

Mamy na nim 3 baterie różnie spolaryzowane, symbolizujące bariery potencjałów dla Na, K, oraz liniową. Nieliniowe przewodności są zaznaczone symbolami ze strzałkami.

Zasadniczą cechą modelu jest **nielinowa, potęgowa** zależność przewodnictwa dla Na i K od napięcia.

Based in experimental observation Hodgkin and Huxley took:

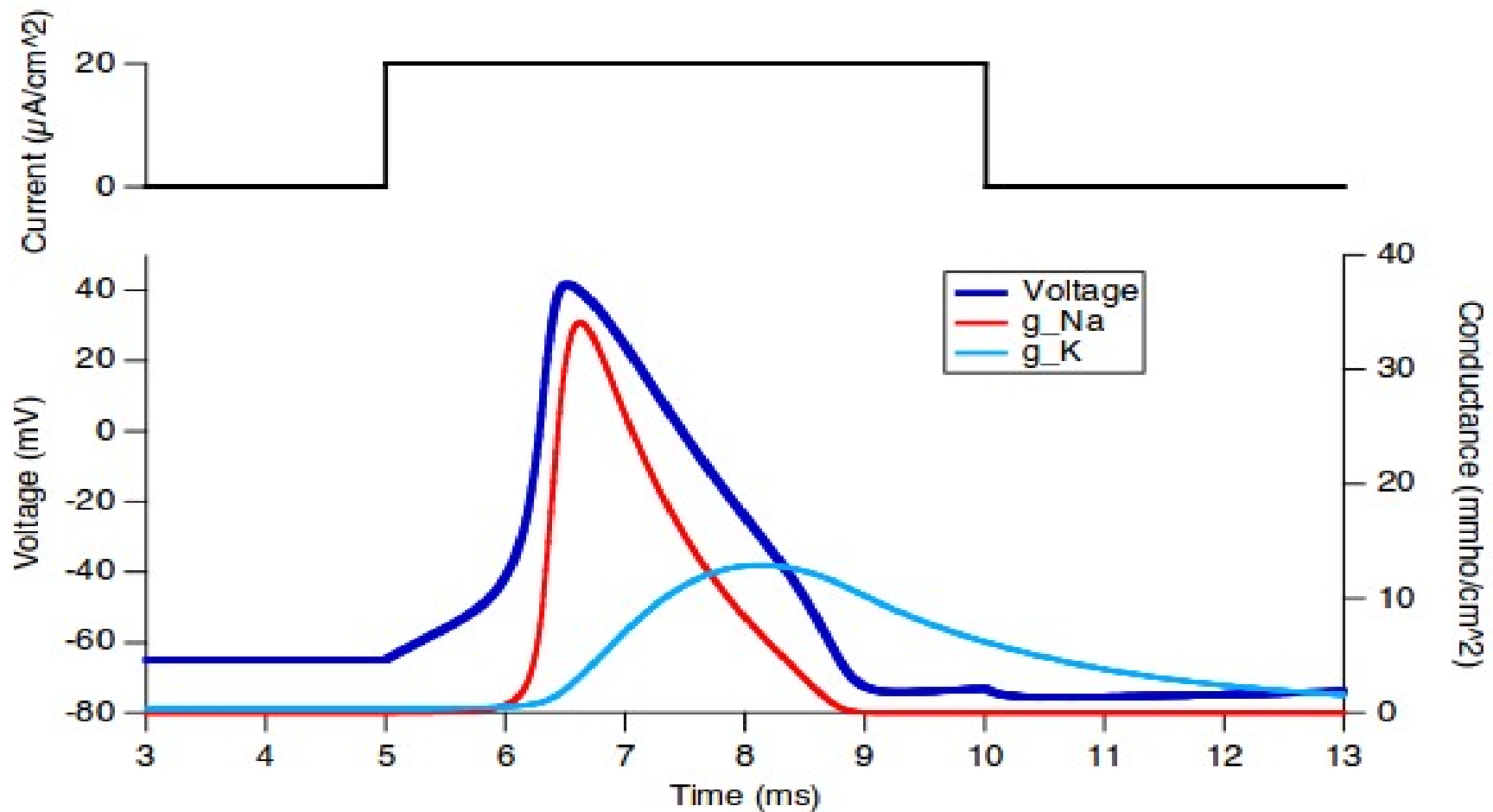
$$\begin{aligned} \sum_k i_{m,k} &= I_{Na} + I_K + I_L \\ &= \bar{G}_{Na} m^3 h (V - E_{Na}) + \bar{G}_K n^4 (V - E_K) + \bar{G}_L (V - E_L). \end{aligned} \quad (3)$$

that is, a sodium current (I_{Na}), a potassium current (I_K) and *leakage* current (I_L). The last one is the contribution from all other ions which may contribute to the total current. The m , n , h are variables, bounded by 0 and 1, which follow the differential equation:

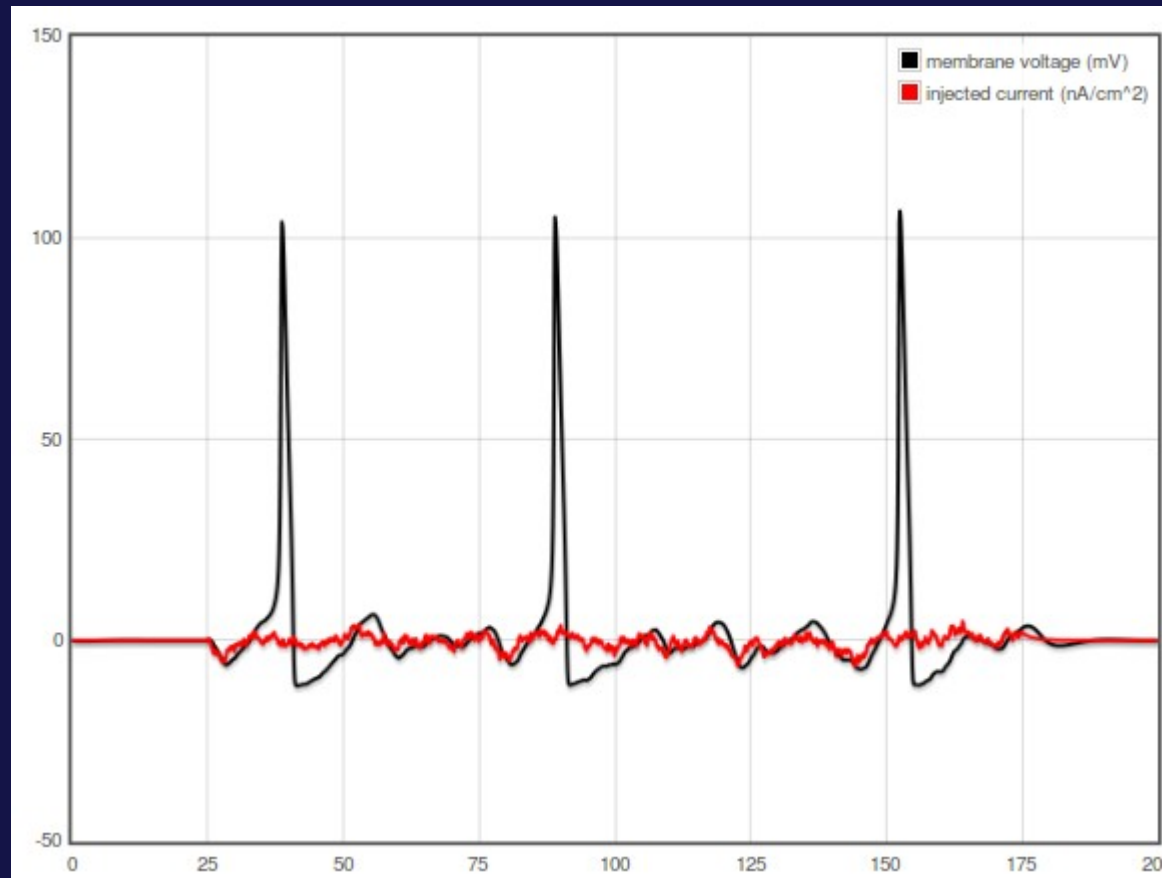
$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= \alpha_x(V)(1-x) - \beta_x(V)x; & \frac{dx}{dt} &= \frac{x_\infty(V) - x}{\tau_x(V)} \\ x_\infty(v) &= \frac{\alpha(V)}{\alpha(V)+\beta(V)}, & \tau_x &= \frac{1}{\alpha(V)+\beta(V)} \end{aligned} \quad (4)$$

with $x = m, n, h$. The variables m and h drive, respectively, the activation and inactivation of the sodium current, whereas n is responsible for the activation of the potassium current. The functions $\alpha_x(V)$ and $\beta_x(V)$ are transition rates between open or close states of the different gates involved in each ionic channel (figure 2). For any fixed voltage step, they are determined by fitting to experimental data. In eq. (4), x_∞ and τ_x are steady state variable and time constant, respectively.

Results: single spike



Symulacja modelu HH w JavaScript. Na podstawie
<http://myselfph.de/hodgkinHuxley.html>

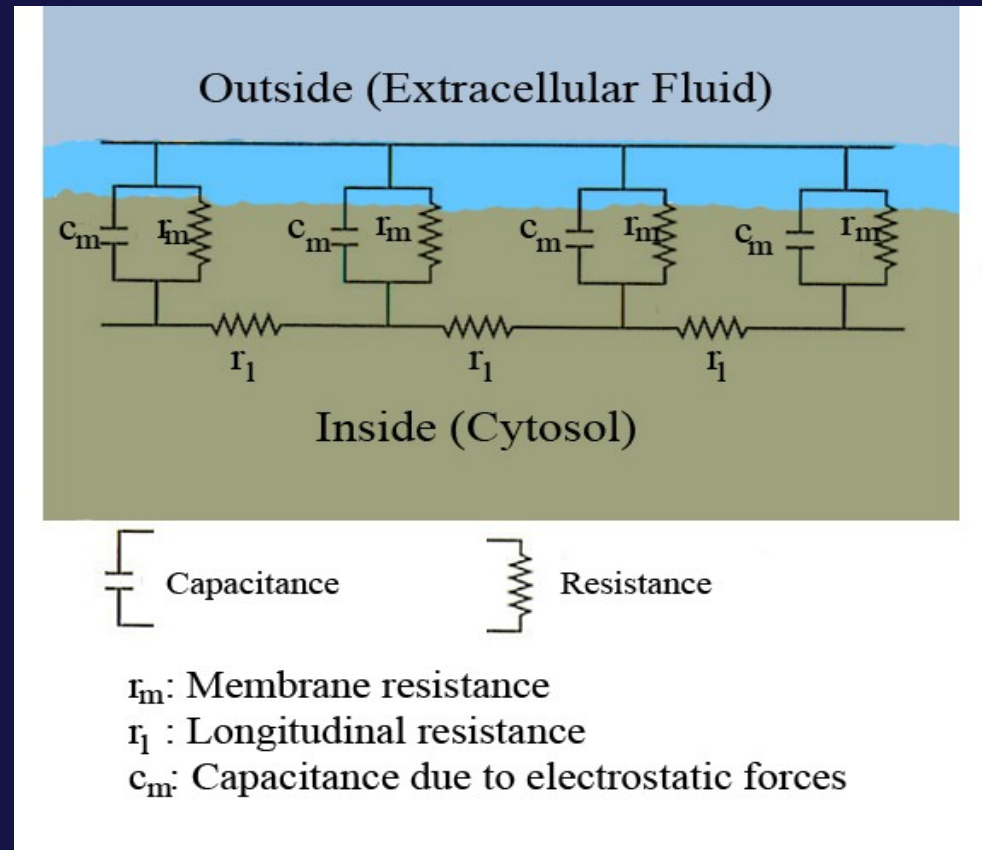


W modelu HH propagacja sygnału w przestrzeni, wzdłuż włókna aksonu, odbywa się na zasadzie dyfuzji jonów Na i K, opisywanego równaniem Boltzmana (podobnie jak i przepływ ciepła). Podobny proces rozprzestrzeniania się sygnału znany jest z elektrotechniki, w kablach przesyłowych ($I=dV/dt$). Mamy do czynienia z filtrem dolnoprzepustowym o dużych stratach.

$$I = \frac{a}{2R} \frac{\partial^2 V}{\partial x^2}$$

gdzie a jest promieniem aksonu, R rezystancją właściwą ekzoplasmy, zaś x pozycją wzdłuż włókna.

- muszą istnieć duże straty energii.
Ciekawym jest, czy w ewolucji ukształtowały się systemy nerwowe minimalizujące takie straty.



Wprowadzano potem odmiany modelu HH. Np. model Fitzhugh-Nagumo, będący uproszczeniem modelu HH w taki sposób, by było możliwe znalezienie analitycznych rozwiązań, gdy model HH można traktować tylko numerycznie.

Obecnie jest tendencja do stosowania rozwiązań numerycznych. Można brać pod uwagę “rzeczywistą” konstrukcję komórki nerwowej, jej rozmiary, itp.

Fakt, że propagacja sygnału w modelu HH opisywana jest równaniem dyfuzji wydaje się dotąd nie w pełni eksploatowany: owo równanie dyfuzji jest równaniem nieliniowym, a rozwiązania nieliniowych równań tego rodzaju mogą mieć własności bardzo różne od rozwiązań dla równań liniowych.

F. Rosenblatt – teoria **dynamicznych** systemów neuronowych modelujących mózg, oparta na modelu perceptronowym komórki nerwowej.

Frank Rosenblatt (11 VII 1928 – 11 VII 1971) był psychologiem urodzonym w Nowym Jorku. Zbudował komputer Mark 1 w Cornell University w 1960 roku. Był to pierwszy komputer, który może nauczyć się nowych umiejętności, metodą prób i błędów, przy użyciu sieci neuronowych.

Perceptrony Rosenblatta początkowo były symulowane na komputerze IBM 704 w Laboratorium Lotnictwa w Cornell, w 1957 roku. Miał nadzieję, że na podstawie badań sieci neuronowych, takich jak perceptron, "można w końcu będzie zrozumieć podstawowe prawa organizacji, które są wspólne dla wszystkich systemów informatycznych".



W 1946 ukończył Bronx High School of Science. Był barwną postacią w Cornell na początku 1960 . Przystojny kawaler, prowadził samochód sportowy i był często postrzegany ze swoim kotem o imieniu Tobermory . Lubił towarzystwo studentów, prowadząc przez kilka lat interdyscyplinarny kurs licencjacki zatytułowany "Teoria mechanizmów mózgu" , przyciągając studentów inżynierii jak i również z uczelni sztuk wyzwolonych Cornell.

Kurs ten był melanzem pomysłów zaczerpniętych z ogromu różnych źródeł: Wyników eksperymentalnych operacji na mózgu u chorych na padaczkę w stanie przytomności, eksperymentów z pomiarów aktywności pojedynczych neuronów w korze wzrokowej kotów, badań utraty poszczególnych rodzajów funkcji umysłowych w wyniku urazu określonych obszarów mózgu, i teorii modelowania zachowania neuronów w różnych analogowych i cyfrowych obwodach elektronicznych.

W 1962 Rosenblatt opublikował obszerny materiał w książce "Zasady neurodynamiki : perceptrony a teoria mechanizmów mózgu " , którą używał potem jako podręcznik dla kursu.

Rosenblatt zwrócił uwagę na znaczenie dynamicznych zjawisk w sieci neuronowej, lecz sam raczej wybitnych osiągnięć w dziedzinie dynamiki sieci neuronowych nie miał.

Ogólne kategorie dynamiki systemów neuronowych

- niezmiennie systemy (stan ich nie ulega zmianie w czasie)
- periodyczne (okresowo powtarzalne w czasie)
- quasi-periodyczne – niepowtarzalne periodycznie, ale będące sumą procesów periodycznych, jednakże o częstościach wzajemnie niewymiernych, a więc bez korelacji fazy między nimi
- chaotyczne