



Potencjały

Bogdan Walkowiak

*Zakład Biofizyki
Instytut Inżynierii Materiałowej
Politechnika Łódzka*

Potencjał chemiczny

Formuła Gibbsa w formie różniczkowej:

$$dU = Tds + dW$$

$$(dU = dQ + dW; ds. = dQ/T)$$

Różne rodzaje pracy:

- praca objętościowa $dW_v = -p dV$
- praca mechaniczna $dW_m = F dl$
- praca elektryczna $dW_e = \varphi dq$
- praca chemiczna $dW_c = \mu dn$

W ogólności praca może być zapisana w postaci:

$$dW = dW_v + dW_m + dW_e + dW_c = -p dV + F dl + \varphi dq + \mu dn$$

Formuła Gibbsa może więc być zapisana w formie:

$$dU = Tds - p dV + F dl + \varphi dq + \mu dn$$

Potencjał chemiczny

Zakładając: $dS = 0$; $dV = 0$; $dl = 0$; $dq = 0$

mamy: $dU = \mu dn$

lub ogólnie:

$$dU = \sum_{i=1}^m \mu_i dn_i$$

Potencjał chemiczny

Gdy system wykonuje pracę ($-dW$) potencjał chemiczny maleje ($-d\mu$)

$$-d\mu = pdV$$

Równanie stanu gazu doskonałego wyraża formuła:

$$pV = nRT \quad R=8.31 \text{ J/mol deg} - \text{uniwersalna stała gazowa}$$

dla procesów izotermicznych ($dT = 0$) spełniona jest równość:

$$p dV = - V dp$$

wtedy:

$$-d\mu = - V dp; \quad \text{and} \quad V = nRT/p$$

$$d\mu = nRT dp/p$$

$$\int d\mu = nRT \int dp/p$$

$$\mu = nRT \ln p \Big|_1^2 + W$$

Potencjał chemiczny

$$\mu = nRT (\ln p_2 - \ln p_1) + \mu^\circ$$

$$\mu = + \mu^\circ + nRT \ln p_2 \quad \text{for } p_1 = 1$$

ponieważ $p = nRT/V$ and $n/V = c$

wiec:

$$\mu = + \mu^\circ + nRT \ln c$$

Electrochemical Potential

Electric charge of n mols of ions is described by the equation:

$$q = z n F$$

and change in the charge amount:

$$dq = z F dn$$

or for several types of ions:

$$dq = F \sum_{i=1}^m z_i dn_i$$

the Gibbs' formula will be expressed as:

$$dU = TdS - p dV + F dl + \varphi F \sum_{i=1}^m z_i dn_i + \sum_{i=1}^m \mu_i dn_i$$

Electrochemical Potential

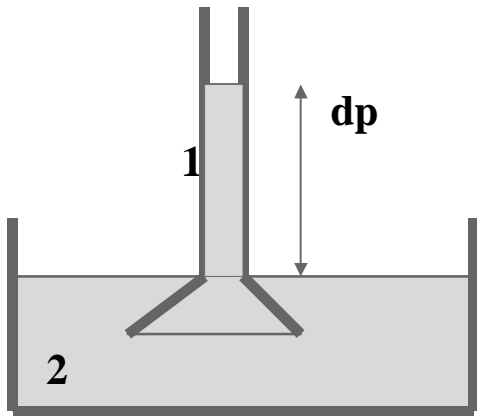
Elements of the sum can be ordered:

$$\varphi F \sum_{i=1}^m z_i dn_i + \sum_{i=1}^m \mu_i dn_i = \sum_{i=1}^m dn_i (\mu_i - z_i F \varphi)$$

$$\mu_i^e = \mu_i + z_i F \varphi$$

$$\mu_i^e = \mu_i^{e0} + RT \ln c_i + z_i F \varphi$$

Ciśnienie osmotyczne



$$\mu^{\circ}_1 + \mathbf{RT \ln c_1} = \mu^{\circ}_2 + \mathbf{RT \ln c_2}$$

$$\mathbf{RT \ln c_1/c_2} = \mu^{\circ}_2 - \mu^{\circ}_1$$

$$\mu^{\circ}_2 - \mu^{\circ}_1 = \mathbf{V dp}$$

subsystem 1: $\mu_1 = \mu^{\circ}_1 + \mathbf{RT \ln c_1}$

subsystem 2: $\mu_2 = \mu^{\circ}_2 + \mathbf{RT \ln c_2}$

$$\mu_1 = \mu_2$$

$$\mathbf{dp} = (\mathbf{RT/V}) \ln c_1/c_2$$

$$\mathbf{\Pi} = (\mathbf{RT/V}) \ln c_1/c_2$$

Ciśnienie osmotyczne

**Jeżeli subsystem 2 zawiera czysty rozpuszczalnik, wtedy $c_2 = 1$,
oraz:**

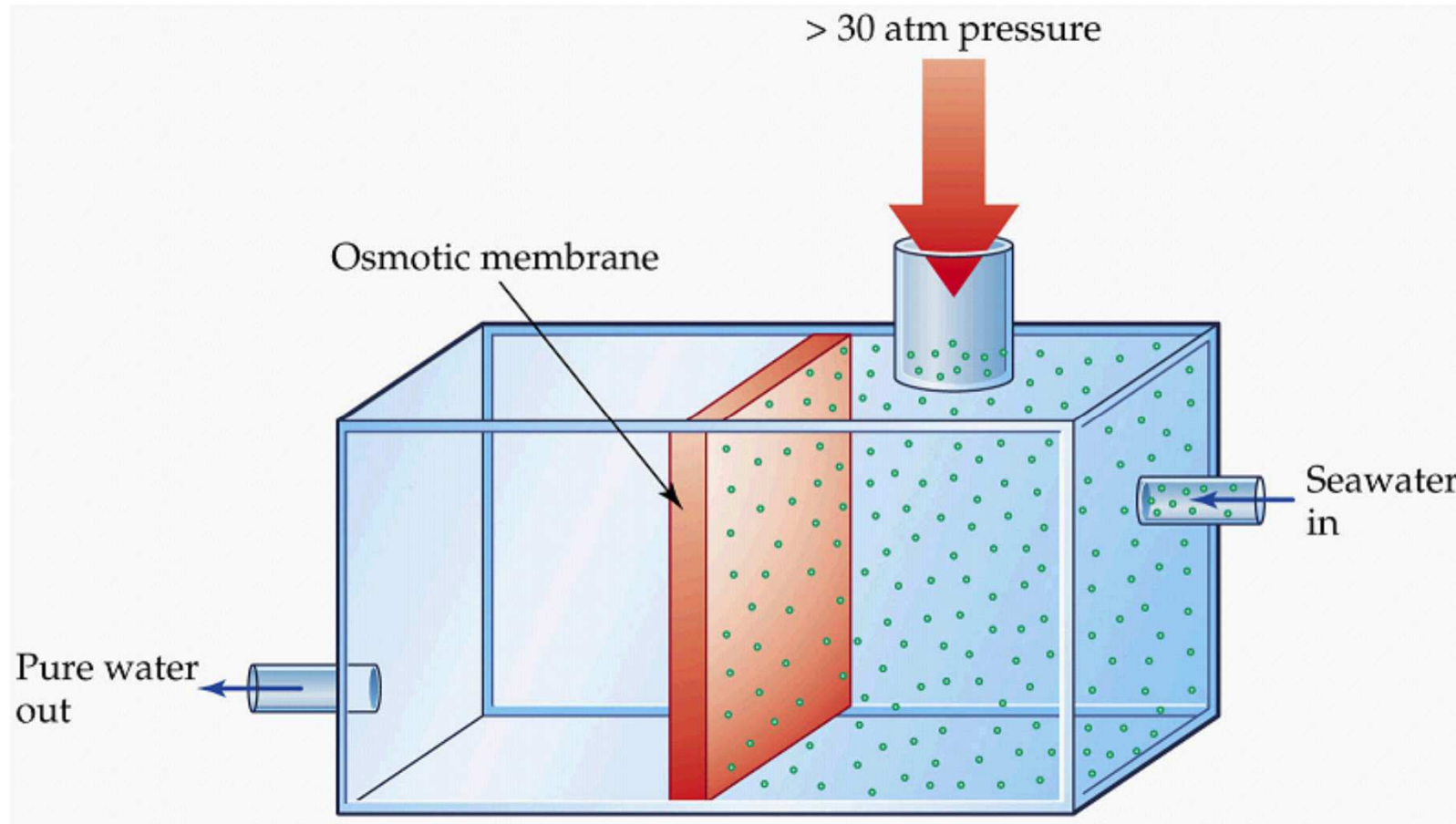
$$\Pi = (RT/V) \ln c_1$$

Dla niskich stężeń roztworów prawdziwa jest zależność:

$$\Pi = RTc_1$$

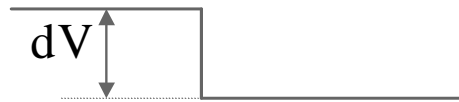
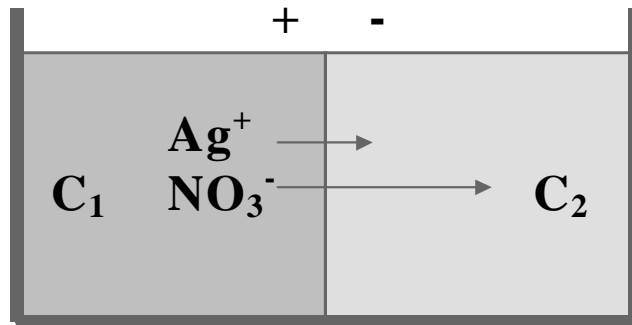
równanie Van't Hoff'a

Ciśnienie osmotyczne



Source: INTERNET

Potencjał dyfuzyjny (kontaktowy)



Dla równowagi wymiany $J_e = 0$, a wtedy:

$$dV = - d\mu L_{ed}/L_e$$

zakładając, że $d\mu = 0$, można napisać:

$$L_{ed}/L_e = J_d/J_e$$

$$J_d = L_d d\mu + L_{de} dV$$

$$J_e = L_{ed} d\mu + L_e dV$$

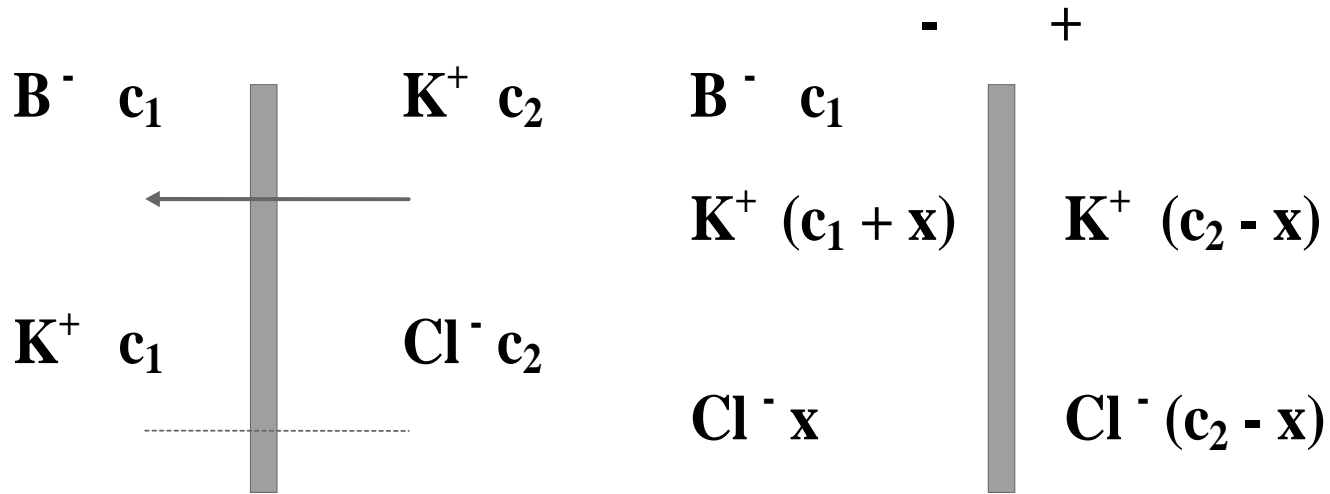
$$J_d = c (v^- - v^+) ; \quad J_e = z F c (v^- + v^+)$$

Potencjał dyfuzyjny (kontaktowy)

$$dV = \frac{v^+ - v^-}{v^+ + v^-} \frac{1}{zF} d\mu; \quad u = v/E \text{ - ruchliwość}$$

$$dV = \frac{u^+ - u^-}{u^+ + u^-} \frac{RT}{zF} \ln \frac{c_1}{c_2}$$

Równowaga Donnan'a



Stan początkowy

stan równowagowy

$$d\mu^e = 0$$

Donnan's Equilibrium

$$\mathbf{x} (\mathbf{c}_1 + \mathbf{x}) = (\mathbf{c}_2 - \mathbf{x}) (\mathbf{c}_2 - \mathbf{x})$$

$$\mathbf{x} / (\mathbf{c}_2 - \mathbf{x}) = (\mathbf{c}_2 - \mathbf{x}) / (\mathbf{c}_1 + \mathbf{x})$$

$$[\mathbf{Cl}_1^-] / [\mathbf{Cl}_2^-] = [\mathbf{K}_2^+] / [\mathbf{K}_1^+]$$

$$\mathbf{dV} = (\mathbf{RT}/\mathbf{F}) \ln ([\mathbf{Cl}_1^-] / [\mathbf{Cl}_2^-]) = (\mathbf{RT}/\mathbf{F}) \ln ([\mathbf{K}_2^+] / [\mathbf{K}_1^+])$$

Potencjał błonowy (membranowy)

WNEŹTRZE	OTOCZENIE	c_I / c_E	E (mV)
Na⁺ 9.2 mM	Na⁺ 120 mM	13:1	+ 67
K⁺ 140 mM	K⁺ 2.5 mM	1:56	- 102
Cl⁻ 4.0 mM	Cl⁻ 120 mM	30:1	- 86

Równanie Nerst'a (potencjał błonowy)

$$dV = \frac{RT}{zF} \ln \frac{c_z}{c_w}$$

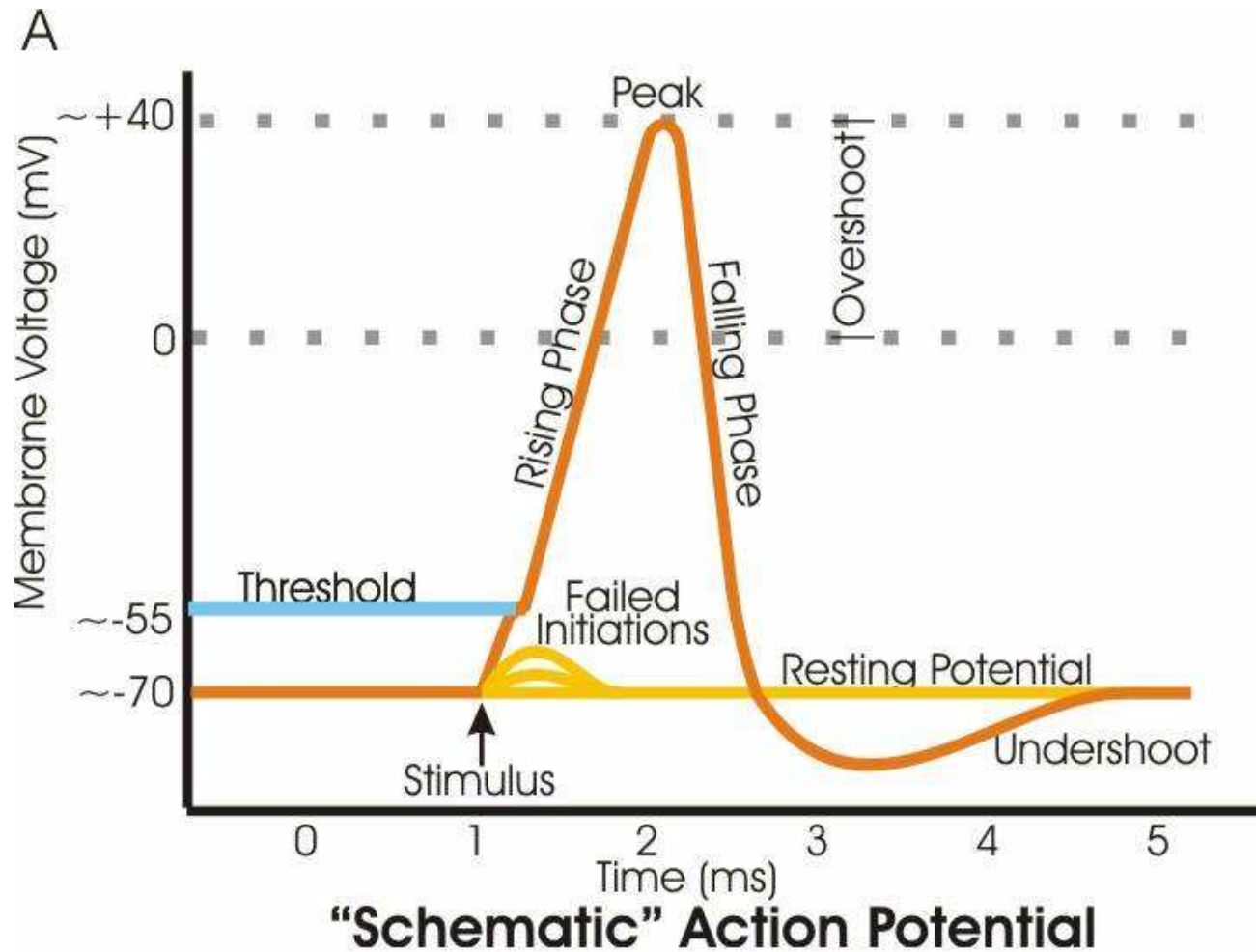
Potencjał błonowy (membranowy)

Równanie Goldman'a (uwzględniające współczynniki przepuszczalności)

$$dV = \frac{RT}{zF} \ln \frac{P_K [K_I^+] + P_{Na} [Na_I^+] + P_{Cl} [Cl_E^-]}{P_K [K_E^+] + P_{Na} [Na_E^+] + P_{Cl} [Cl_I^-]}$$

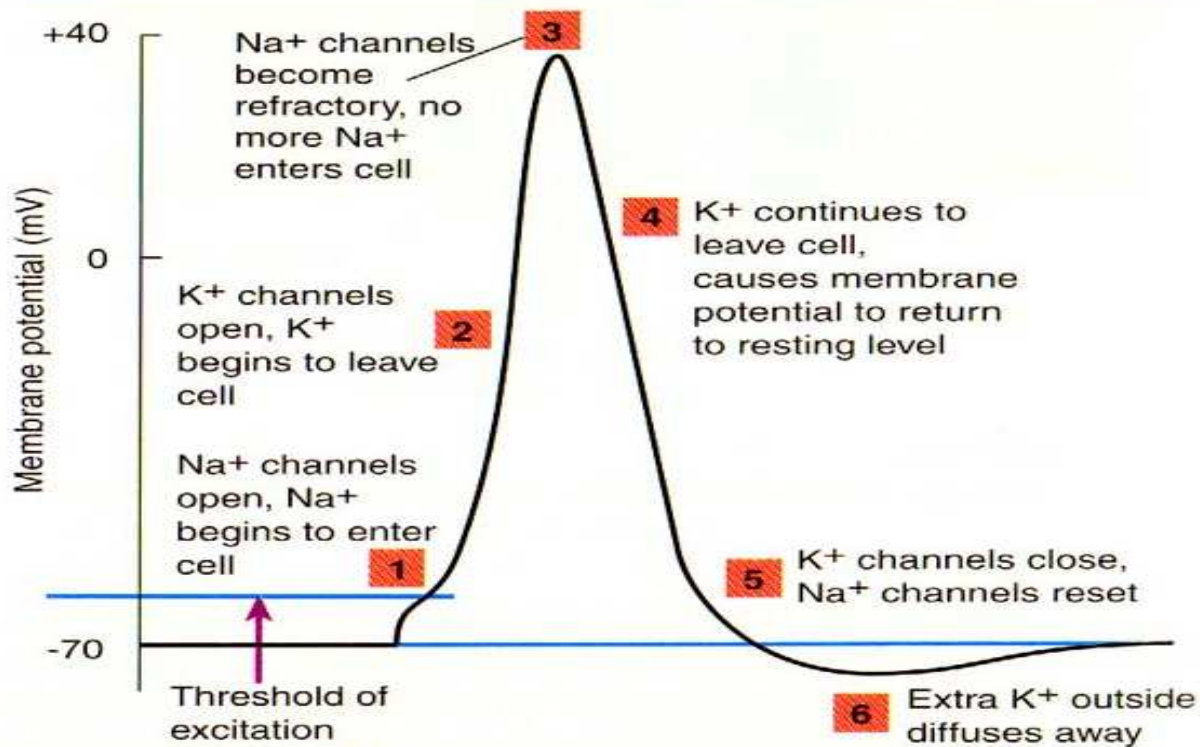
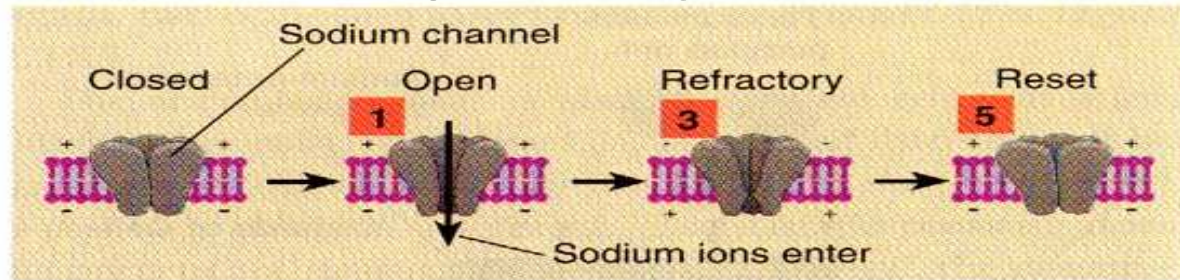
Dla współczynników przepuszczalności $P_K : P_{Na} : P_{Cl} = 1 : 0.04 : 0.05$, oraz stężeń jak na poprzednim przeźroczu, obliczony potencjał błonowy wynosi około - 90 mV

Potencjał czynnościowy



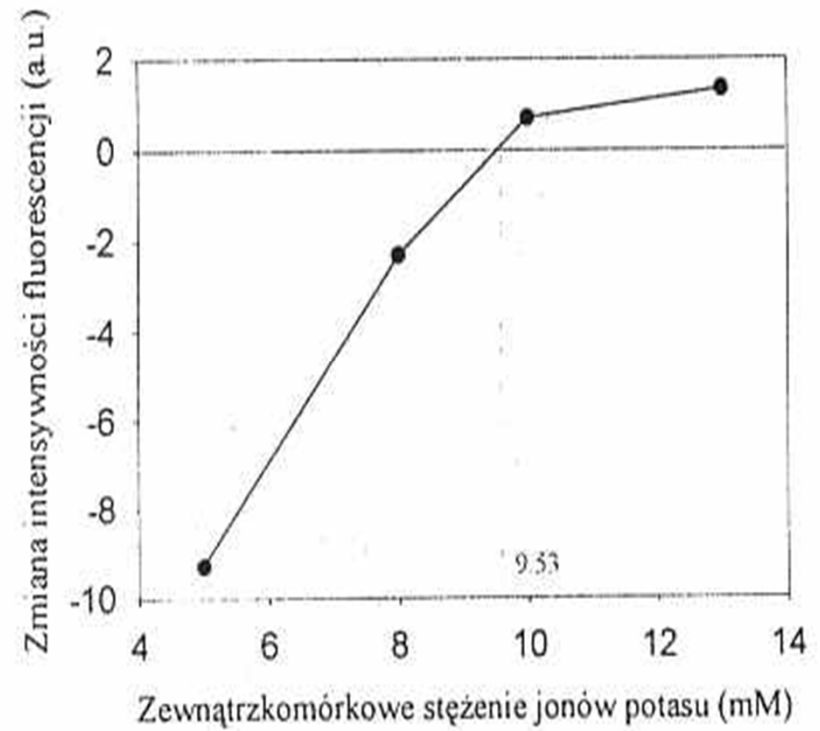
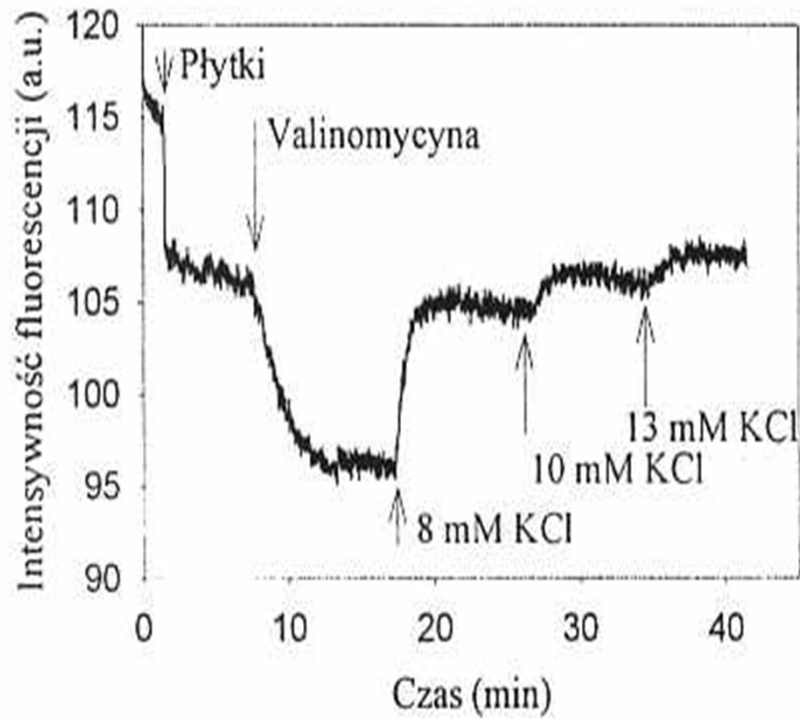
Source: INTERNET

Potencjał czynnościowy

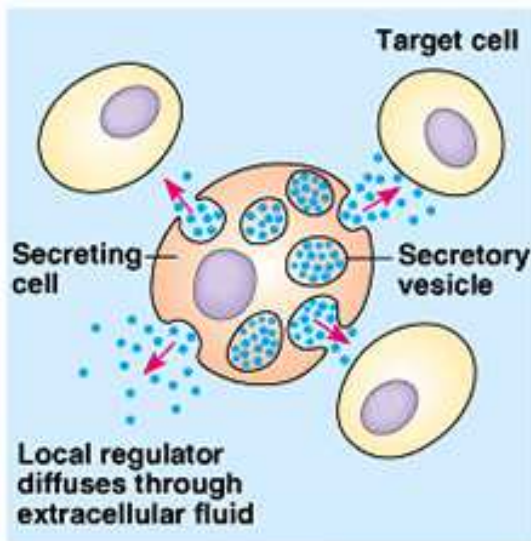


Source: INTERNET

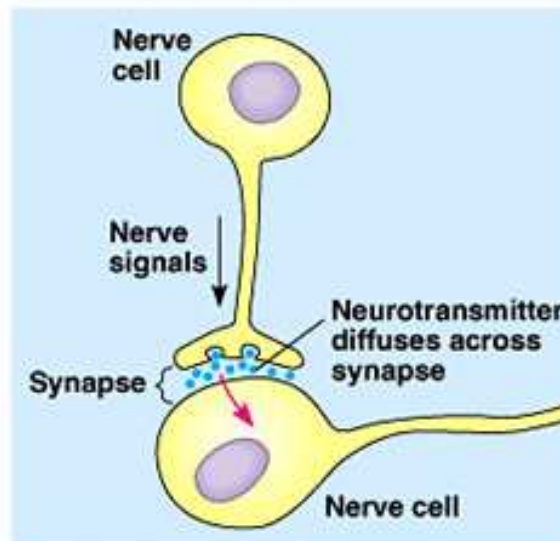
Pomiar potencjału błonowego



Przekazywanie sygnałów (cell signaling)



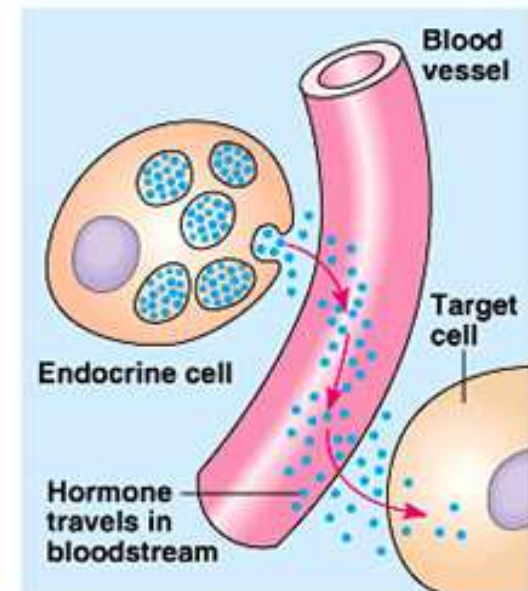
Paracrine signaling



Synaptic signaling

paracrine signaling

(a) Local signaling

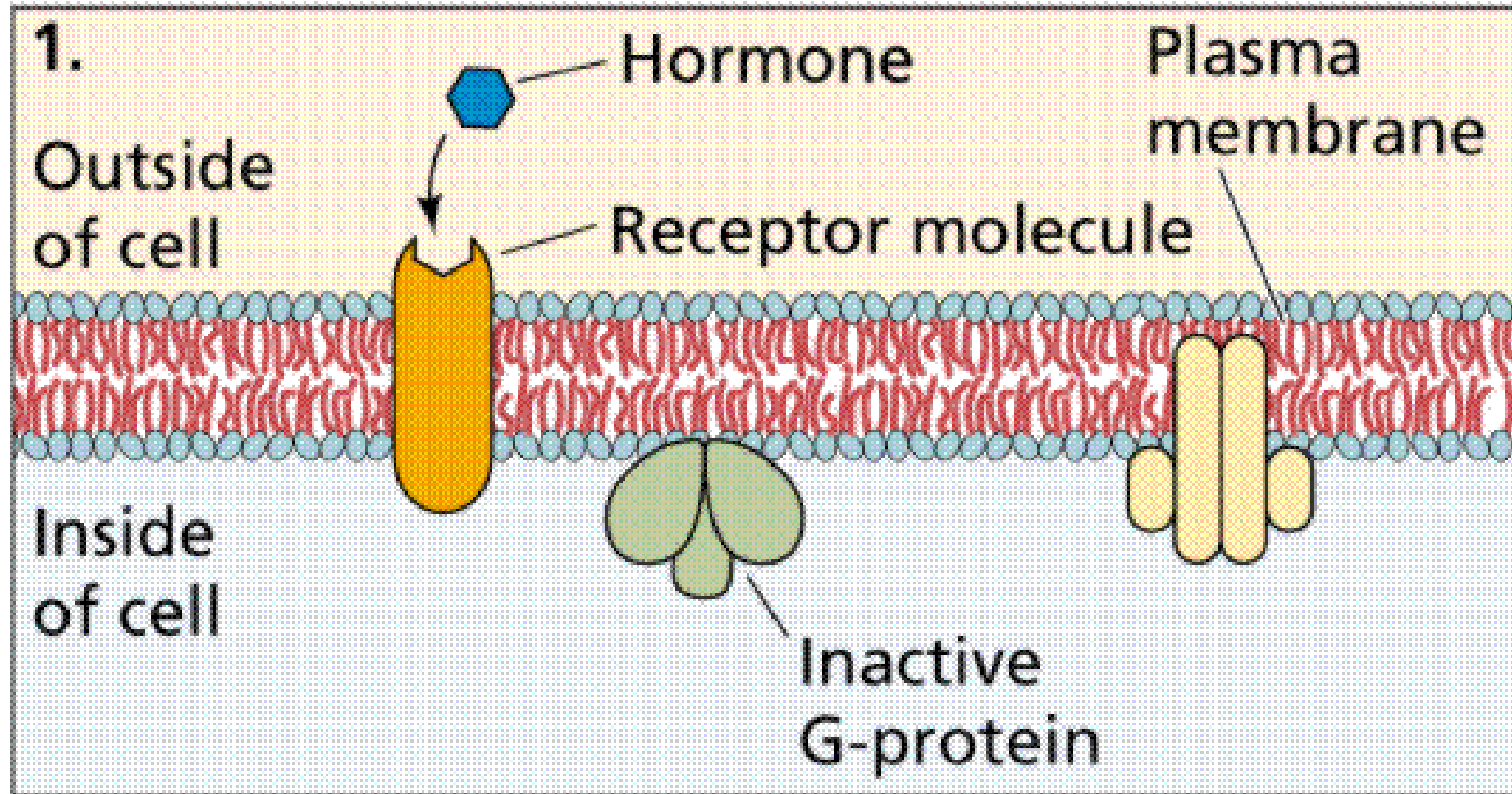


(b) Long distance (hormonal) signaling

endocrine signaling

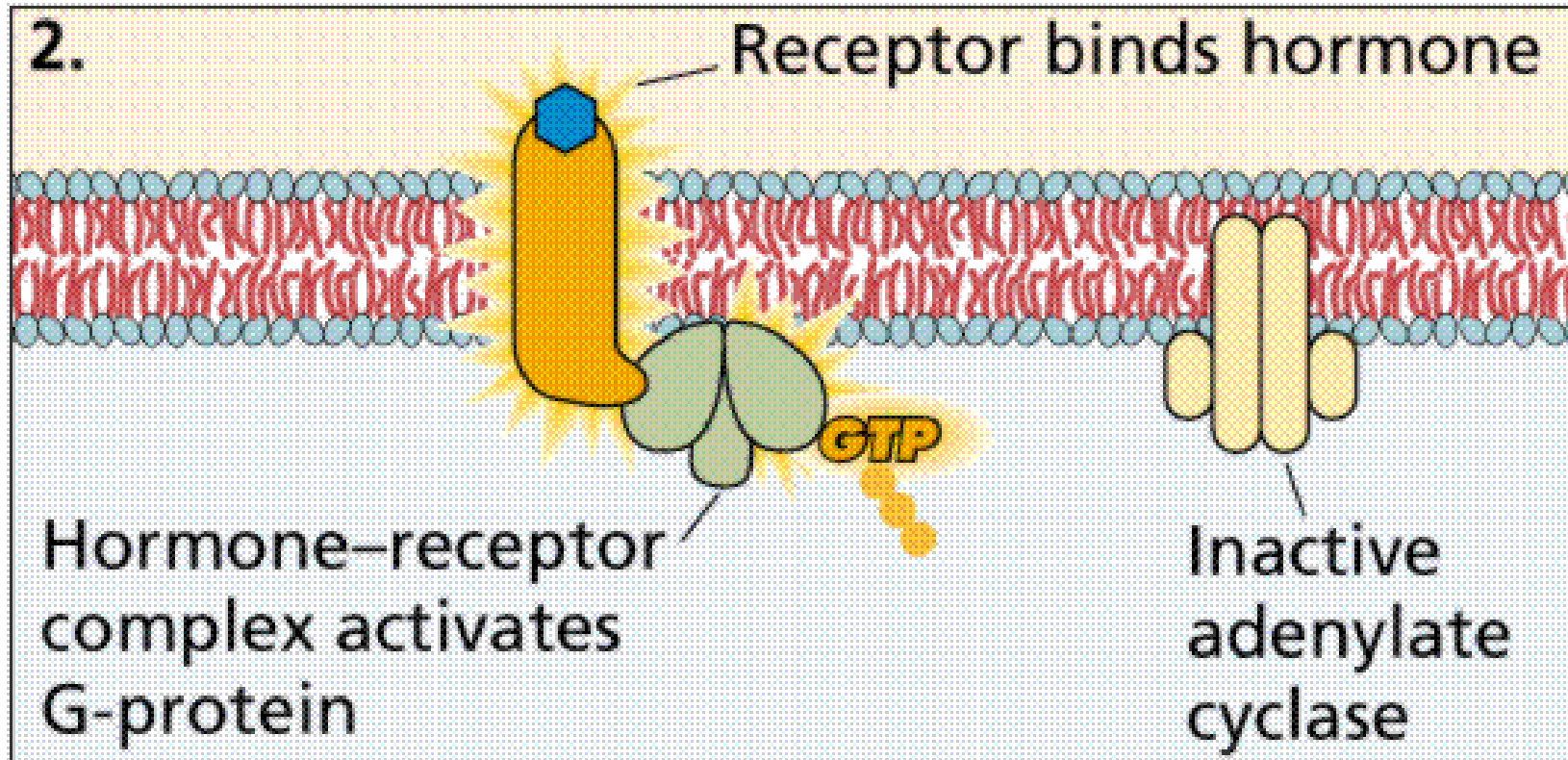
Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

Przekazywanie sygnału przez błonę komórkową



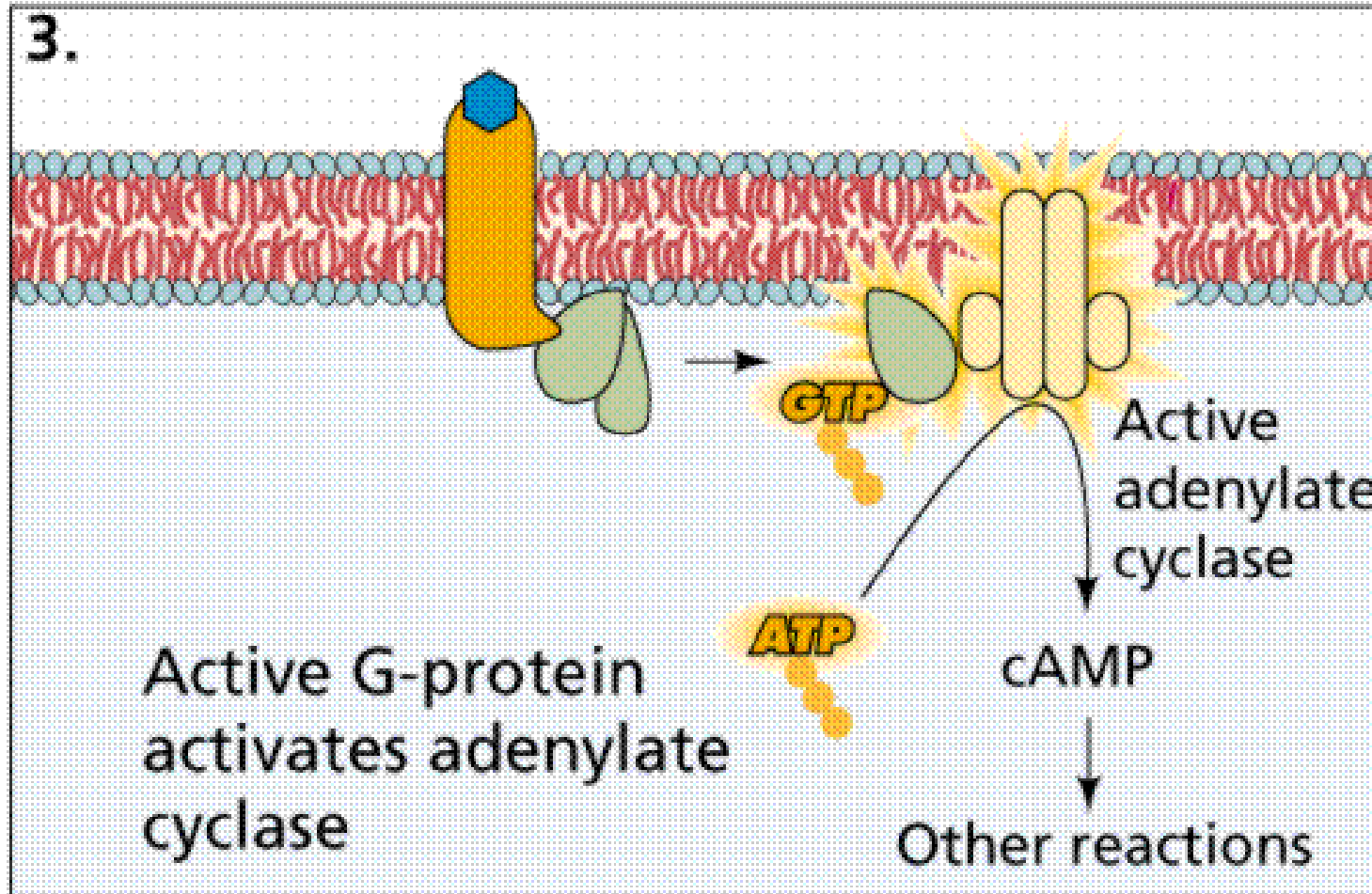
Source: INTERNET

Przekazywanie sygnału przez błonę komórkową



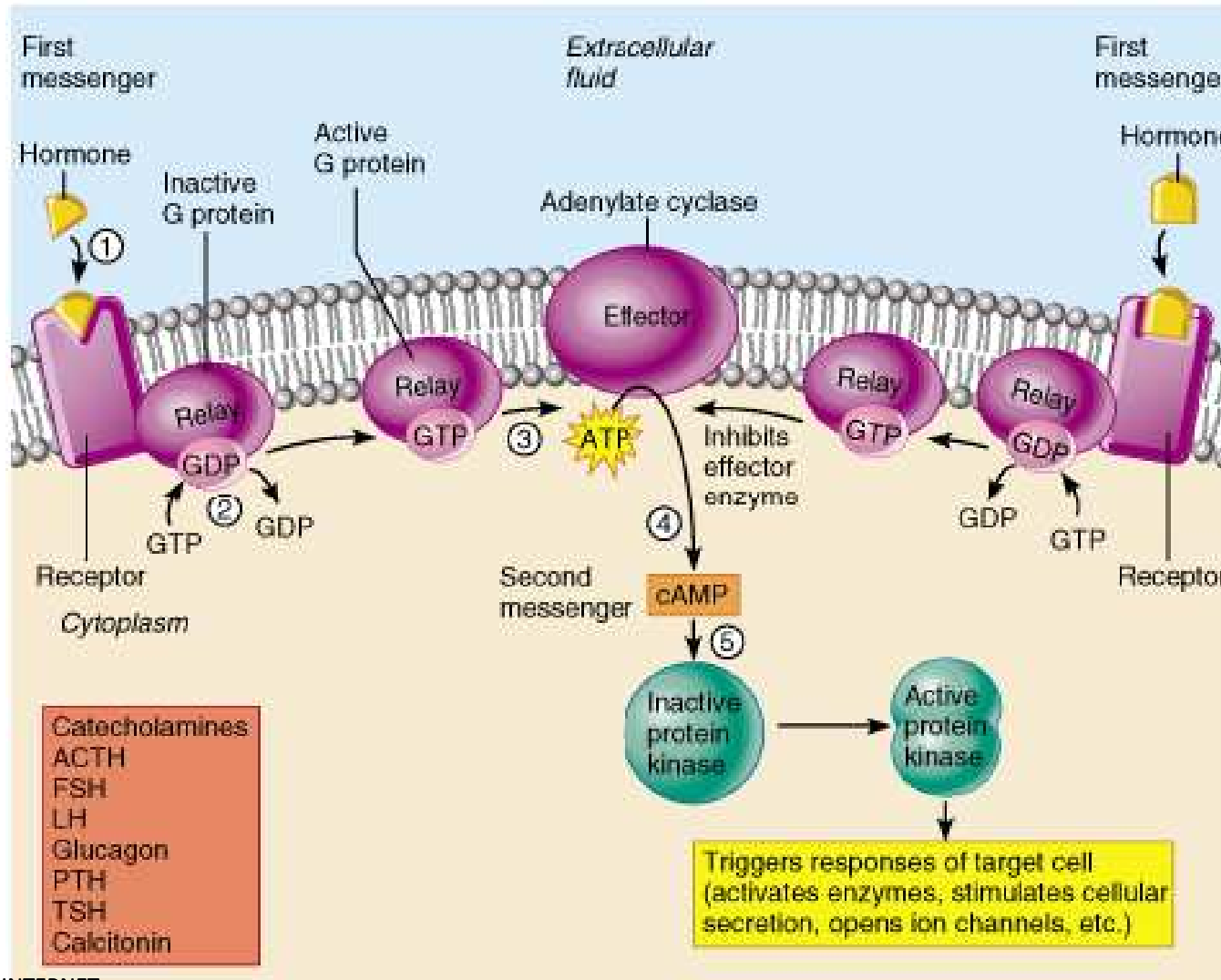
Source: INTERNET

Przekazywanie sygnałów wewnątrz komórki



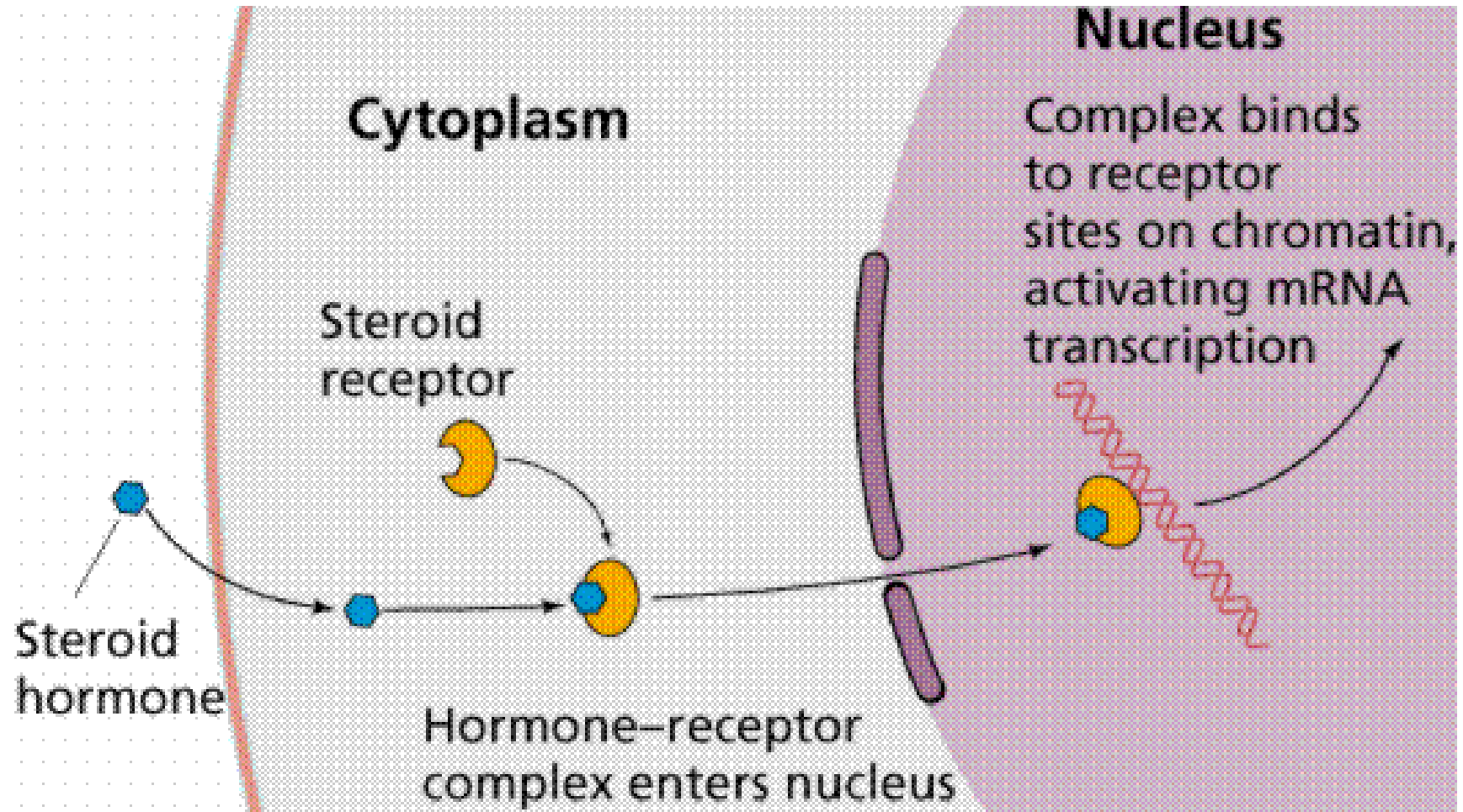
Source: INTERNET

Przekazywanie sygnałów wewnątrz komórki



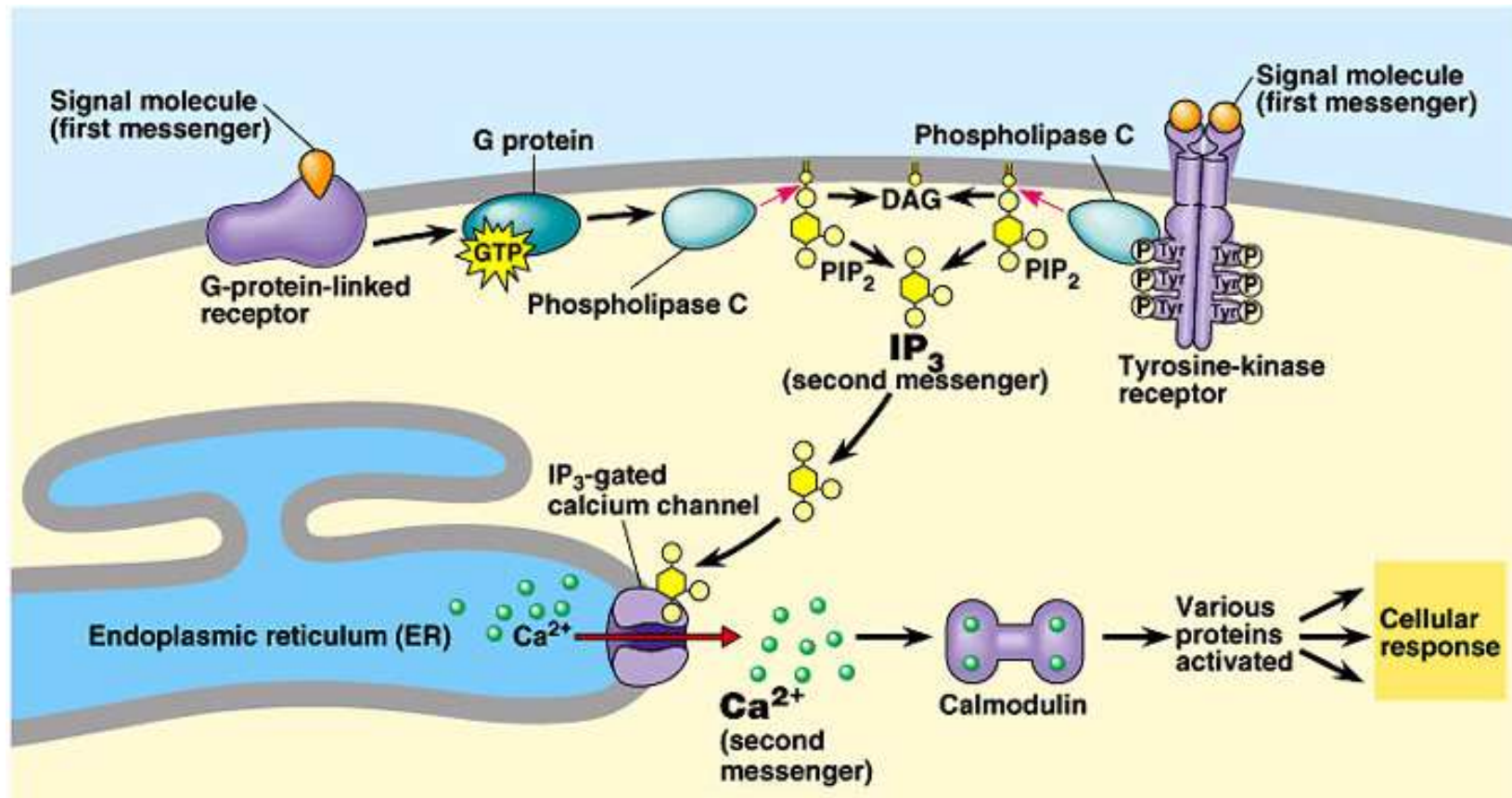
Source: INTERNET

Przekazywanie sygnałów wewnątrz komórki



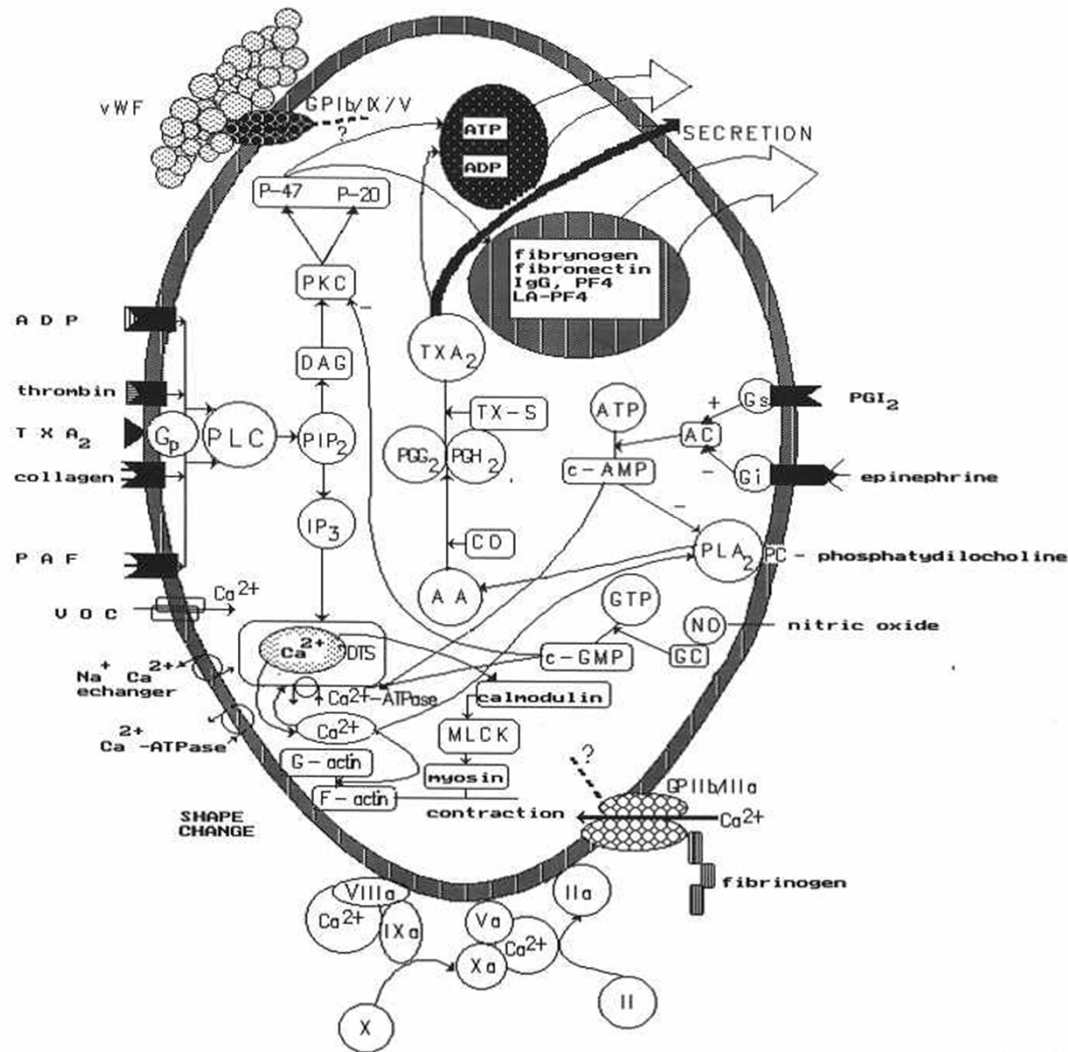
Source: INTERNET

Jon wapnia jako przekaźnik sygnałów



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

Przekazywanie sygnałów wewnątrz komórki



- AC – adenylate cyclase
- DAG – diacylglycerol
- PKC – protein kinase C
- PG – prostaglandins
- PLC – phospholipase C
- AA – arachidonic acid
- CO – cyclooxygenase
- TXA₂ – thromboxane A₂
- GC – guanylate cyclase
- PIP₂ – phosphatidylinositolbiphosphate
- IP₃ – inositoltriphosphate
- DTS – dense tubular system
- PLA₂ – phospholipase A₂
- TX-S – thromboxane synthetase
- MLCK – myosin light-chain kinase
- G_p, G_s, G_i – GTP binding proteins